

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.И. ГЕРЦЕНА

HERZEN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY OF RUSSIA

LXXVI Герценовские чтения
География:
развитие науки и образования

Материалы Международной научно-практической конференции
19–21 апреля 2023 года

В 2-х томах

I

LXXVI Herzen readings
Geography:
Development of Science and Education

Materials of the International Scientific and Practical Conference
on April 19–21, 2023

In 2 volumes

Санкт-Петербург
Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
2023

УДК 911.5

Рецензенты:

Ал. А. Григорьев, доктор географических наук, профессор, РГПУ им. А. И. Герцена;
Д. В. Севастьянов, доктор географических наук, профессор, ЛГУ им. А. С. Пушкина

Редакционная коллегия:

Д. А. Субетто (отв. ред.), *А. Н. Паранина* (отв. ред.), *А. С. Баранов*, *Ю. Л. Войтеховский*,
Д. А. Гдалин, *Ю. Н. Гладкий*, *И. М. Греков*, *Е. Ю. Гуров*, *С. В. Ильинский*, *В. Ф. Куликов*,
С. И. Махов, *В. Г. Мосин*, *Е. М. Нестеров*, *Л. А. Пестрякова*, *В. Д. Сухоруков*

LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования :
Материалы Международной научно-практической конференции 19–21 апреля
2023 года : в 2 т. Т. I / отв. ред. Д. А. Субетто, А. Н. Паранина. — Санкт-
Петербург : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. — 384 с.

LXXVI Gertsenovskiy readings. Geography: development of science and education. Materials
of the International Scientific and Practical Conference on April 19–21, 2023 : in 2 vol. Part I / by
ed. D. A. Subetto, A. N. Paranina. — St. Petersburg : Publishing house of Herzen State Pedagogical
University of Russia, 2023. — 384 p.

ISBN 978-5-8064-3368-9

ISBN 978-5-8064-3369-6 (том 1)

Сборник материалов «География: развитие науки и образования» отражает результаты работы научно-практической конференции 76 Герценовские чтения 19–21 апреля 2023 года, посвященной 200-летию со дня рождения К. Д. Ушинского, 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского, 140-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана.

Материалы сгруппированы в два тома. Том I включает главы: 1. География — основа моделирования мира, 2. Современные вопросы физической географии, 3. Исследования полярных областей, 4. Лимнология и меромиктические озера, 5. Палеолимнологические и палеогеографические исследования. Том II включает главы: 1. Геоэкология и охрана окружающей среды, 2. Социально-экономические системы и географические аспекты глобализации, 3. Развитие географического образования, 4. Регионоведение, краеведение, туризм.

УДК 911.5

Материалы публикуются в авторской редакции

ISBN 978-5-8064-3368-9

ISBN 978-5-8064-3369-6 (1 том)

© РГПУ им. А. И. Герцена, 2023

© Р. В. Паранин, обложка, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОГРАФИЯ – ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ МИРА

<i>Сухоруков В.Д., Гладкий Ю.Н.</i> Институциональная структура образовательного пространства России.....	7
<i>Алькова Е.И.</i> Географическое образование для всех! Возможно ли?.....	13
<i>Войтеховский Ю.Л.</i> О творческом наследии А.Е. Ферсмана: к 140-летию со дня рождения.....	17
<i>Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.</i> Значение геотуризма в сохранении геонаследия.....	24
<i>Григорьев Ал.А.</i> Каменные образования планеты – подобию древних изваяний как аттрактивные объекты туризма	31
<i>Коробов В.Б.</i> География и анархизм.....	37
<i>Марсадолов Л.С., Паранина А.Н., Паранин Р.В.</i> 283-летие мониторинга состояния Большого Салбыкского кургана в Хакасии...	42
<i>Ретеюм А.Ю.</i> О Солнечно-Юпитерианской системе.....	54
<i>Розанов Л.Л.</i> Концепция геоэкологической картины мира.....	63
<i>Савватеева О.А.</i> Год 160-летия со дня рождения В.И. Вернадского в рамках системы непрерывного экологического образования в г. Дубна Московской области.....	68
<i>Шейнкман В.С., Кашдан А.И.</i> Интерпретация следов геологической деятельности ледников на основе принципа актуализма и с позиций взаимодействия оледенения и криолитозоны..	72

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

<i>Анохин В.М., Пронина А.В., Шихирина К.А.</i> Закономерности ориентации линейных форм подледного рельефа Антарктиды..	84
<i>Бородулина Г.С.</i> Родники на территории Карелии.....	89
<i>Власова Д.В., Кузьмин К.А., Панков С.В.</i> Структура бассейна реки Кашма в Тамбовской области по морфопоказателям рельефа.....	94
<i>Воеводина А.А., Желнова Д.И., Алейникова А.М.</i> Динамика изменения уровня Каспийского моря 2016-2023 гг.....	98
<i>Вяткин Е.Д.</i> Анализ динамики дюнного массива на левобережье реки Шойны по данным дистанционного зондирования.....	102
<i>Градин Б.Е., Дегусарова В.С.</i> Географические аспекты ландшафтного планирования южных пригородов Санкт-Петербурга.....	107
<i>Дебольская Е.И.</i> Исторический очерк исследований бухты Индига.....	113
<i>Дудакова Д.С., Анохин В.М., Пронина А.В., Уличев В.М.</i> Опыт использования гидролокатора бокового обзора в изучении донных ландшафтов ладожского озера на примере бухты Хаукайсенлахти острова Кухка....	118
<i>Ефимова К.А., Михневич Г.С.</i> Морфодинамика лагунного берега Куршской косы в зимний сезон 2022-2023 гг.	123

<i>Иванова Е.Д.</i>	Экоструктурный анализ комплексов бентосных фораминифер из Тонкинского залива (Вьетнам) (на примере колонки LV88-55 GC).....	128
<i>Исупова М.В., Долгополова Е.Н.</i>	Водный баланс дельты Печоры и Колымы и изменения его составляющих.....	133
<i>Котова Е.И., Коробов В.Б.</i>	Исследование пространственной неоднородности дальнего переноса в юго-восточной части Двинского залива Белого моря.....	138
<i>Масликова О.Я., Грицук И.И., Ионов Д.Н.</i>	Исследование движения меандра при подвижке земной коры в условиях криолитозоны...	144
<i>Низовцев В.А., Эрман Н.М., Кобзева Ю.А.</i>	Становление первых ландшафтно-хозяйственных систем в центральной России...	149
<i>Остякова А.В., Королёв М.В.</i>	Исследование механизма обрушения склонов под действием гидростатического напора при фильтрации в талике.....	154
<i>Пятов И.М.</i>	Типизация береговой зоны Ладожского озера с использованием спутниковых снимков	160
<i>Сидорчук А.Ю., Тарбеева А.М.</i>	Изменение увлажненности на территории Новопортовского месторождения, полуостров Ямал.....	163
<i>Страховенко В.Д., Малов Г.И., Овдина Е.А., Малов В.И.</i>	Аутигенное минералообразование в донных отложениях высоко и среднегорных озерах Алтая в условиях нивального седиментогенеза.....	166
<i>Токранов А.М.</i>	Состав и относительная численность рогатковых рыб в прибрежье о-ва Старичков через два года после цветения водорослей осенью 2020 г.....	171
<i>Толстиков А.В., Чернов И.А., Баклагин В.Н., Галахина Н.Е.</i>	Численное моделирование криосистемы Белого моря.....	176
<i>Чалов С.Р., Магрицкий Д.В., Прокопьева К.Н., Гармаев Е.Ж.</i>	Экспедиционные исследования в дельте р. Лены в 2022 г.....	181
<i>Шихирина К.А.</i>	Озеро Круглое: годовой мониторинг некоторых физико-химических характеристик озёрных вод (Лужский район, Ленинградская область).....	186
<i>Шихирина К.А., Миронова А.Д., Малькова П.П.</i>	К вопросу о формировании берегов заливов Лахта и Раскопельский Чудского озера.....	193
ПОЛЯРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ		
<i>Бэк Ен Чжун, Дорофеева Л.А., Шадрин А.И.</i>	Изучение научного обеспечения взаимодействия Российской Федерации и Республики Корея по освоению Арктики.....	197
<i>Долгополова Е.Н., Исупова М.В., Михайлова М.В.</i>	Ледяные заторы и наводнения в субарктических устьях.....	201
<i>Joung Hun Kim, Song Lee</i>	Implications and prospects for South Korea as it celebrates the 10th anniversary of observer status in the Arctic Council.....	206
<i>Ким Чжа-Ён</i>	Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики и Chat GPT	210
<i>Кондратов Н.А.</i>	Развитие Северного морского пути в XXI веке.....	213
<i>Печкин А.С., Красненко А.С., Старостин С.А., Старостина С.И., Сировадко Н.А.</i>	Динамика процессов оттаивания и замерзания подстилающей поверхности арктической зоны по данным спутника SMOS.....	218

ЛИМНОЛОГИЯ И МЕРОМИКТИЧЕСКИЕ ОЗЕРА РОССИИ

Аниканов Н.М., Хлебко В.И., Яковлев А.С., Бабин А.В., Воякина Е.Ю.

- Лимнологические параметры оз. Лещевое в июне 2022 г..... 224
- Белкина Н.А., Потахин М.С., Субетто Д.А., Рябинкин А.В., Кухарев В.И., Кравченко И.Ю., Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Гатальская Е.В.*
- Процессы формирования донных отложений в озере Вендюрское (Южная Карелия)..... 228
- Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М.*
- Характеристика донных отложений озер, отделившихся от Кандалакшского залива Белого моря..... 231
- Губин В.Н., Архипенко Т.В.*
- Новейшая геодинамика озерных водоемов Беларуси..... 235
- Демиденко Н.А., Саввичев А.С.*
- Гидрологические условия и микробные процессы в водоемах губы Канда, отделенных от Белого моря..... 240
- Кокрятская Н.М., Лосюк Г.Н., Краснова Е.Д., Попов С.С., Титова К.В., Воронов Д.А.*
- Гидрохимические параметры водоемов залива Порья губа Белого моря..... 245
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Жильцова А.А., Соколовская Ю.Г., Пацаева С.В.*
- Корреляция оптической плотности в ближнем УФ диапазоне и солености в поверхностных водах прибрежных стратифицированных водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря..... 250
- Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М., Вахрамеева Е.А.*
- Соединения восстановленной серы в воде озера Еловое (Кандалакшский залив Белого моря)..... 255
- Марченко Ю.Т., Малавенда С.С., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Сказина М.А., Стрелков П.П.*
- Особенности популяций мидий *Mytilus* из меромиктических водоёмов..... 259
- Миндолина Ю.В., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Плотников А.О.*
- Таксономический состав сообществ протистов в стратифицированной прибрежной лагуне на Зеленом мысе (Кандалакшский залив, Белое море)..... 264
- Немировская И.А., Будько Д.Ф.*
- Органические соединения в осадках отделяющихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря..... 269
- Пацаева С.В.*
- Особенности спектроскопического изучения растворенного органического вещества в меромиктических водоемах..... 274
- Полунина Ю.Ю., Краснова Е.Д., Воронов Д.А.*
- Состав и вертикальное распределение зоопланктона стратифицированных лагун на побережье Белого моря в сентябре 2022 г..... 279
- Постева М.А., Даувальтер В.А., Слуковский З.И., Денисов Д.Б.*
- Трофический статус и лимитирующие факторы трофности озёр г. Мурманска.. 284
- Селиванова Е.А., Хлопко Ю.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Плотников А.О.*
- Вертикальная структура сообществ прокариот меромиктического озера Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив, Белое море)..... 289
- Соколовская Ю.Г., Жильцова А.А., Филиппова О.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Пацаева С.В.*
- Распределение по глубине растворенного органического вещества и фототрофных бактерий в лагуне на Зеленом мысе в сентябре 2022 года..... 294
- Титова К.В., Кокрятская Н.М., Захарова Е.Е., Морева О.Ю., Попов С.С.*
- Процессы деструкции органического вещества в воде малых озер Большого Соловецкого острова..... 299
- Шевченко В.П., Кокрятская Н.М., Белоруков С.К., Вахрамеева Е.А., Котова Е.И., Стародымова Д.П., Чупаков А.В., Яковлев А.Е.*

Гранулометрический и макроэлементный состав донных осадков озёр Приморского района Архангельской области.....	304
--	-----

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Борисова О.К., Нарышкина Н.Н.

Динамика растительных сообществ при резких короткопериодных изменениях климата на переходе от последней ледниковой эпохи к голоцену.....	309
---	-----

Борисова О.К., Нарышкина Н.Н.

Морская кислородно-изотопная стадия 3 – несостоявшееся межледниковье.....	314
---	-----

Борцов А.В.

Эволюция природных условий и геокриологические особенности Норильской предгорной депрессии в позднем неоплейстоцене и голоцене.....	319
--	-----

Кашидан А.И., Шейнкман В.С.

Реконструкция динамики ледовых потоков восточного сектора Карского ледникового щита.....	323
---	-----

*Королева Т.А., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Петров А.Ю., Григорьев В.А.,
Савельева Л.А., Фоменко А.П.*

Геохронологическое изучение позднеплейстоценовых озерно-болотных отложений Русской равнины с применением $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования и палеоботанических методов..	328
--	-----

Кошелева Е.А.

Растительность перигляциальной зоны валдайского оледенения Восточной Фенноскандии.....	333
---	-----

Михневич Г.С., Моданова Е.В., Ордина Л.С., Рачина В.

Особенности геологического строения северо-западного участка Калинин- градского полуострова.....	337
---	-----

Паранин Р.В.

Панцирные глиняные шары в четвертичных отложениях Приневской низмен- ности как индикаторы палеопотоков.....	343
--	-----

*Потахин М.С., Белкина Н.А., Рябинкин А.В., Мясникова Н.А., Кублицкий Ю.А.,
Орлов А.В., Субетто Д.А.*

Изучение особенностей строения котловины и донных отложений Лососин- ского водохранилища.....	350
--	-----

*Репкина Т.Ю., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Вахрамеева Е.А.,
Орлов А.В., Левкова Д.Н., Комагорова М.А.*

Изучение ритмов прибрежных эоловых процессов палеолимнологическими методами (губа Летняя Золотица, Онежский п-ов Белого моря).....	353
---	-----

*Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Неевин И.А., Талденкова Е.Е., Буданов Л.М., Жамойда
В.А., Носевич Е.С., Пушина З.В., Григорьев А.Г., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.В.*

Новые данные о палеогеографическом развитии Восточно-Сибирского моря в позднем неоплейстоцене-голоцене.....	359
--	-----

Сивков В.В., Дорохова Е.В., Дорохов Д.В., Ласкина Д.Н.

Контуритовые дрифты Восточно-Готландской и Гданьской впадин Балтийского моря..	364
--	-----

Суворова А.Н., Садоков Д.О., Петров А.Ю., Савельева Л.А.

Изменчивость растительного покрова Молого-Шекснинской низменности в голоцене по данным изучения озера Змеиное: первые результаты.....	369
--	-----

Фоменко А.П., Зюганова И.С., Попова С.С., Савельева Л.А.

Палеоботанические исследования опорных разрезов верхнего плейстоцена Тверской области.....	374
---	-----

CONTENT.....	379
--------------	-----

ГЕОГРАФИЯ – ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ МИРА

GEOGRAPHY IS THE BASIS OF WORLD MODELING

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССИИ

В.Д. Сухоруков, Ю.Н. Гладкий

*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, suhor@herzen.spb.ru, gladky43@rambler.ru*

INSTITUTIONAL STRUCTURE OF THE EDUCATIONAL SPACE OF RUSSIA

V.D. Sukhorukov, Y.N. Gladkiy

Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg

Аннотация. Подчеркивается масштабность современной системы образования и роль образовательной парадигмы в стратегических планах России. Анализируется характер образовательного пространства России. Выделяются базовые институты, постулирующие смыслы образования и регулирующие устойчивость образовательного комплекса. Акцентируется внимание на сущностной оценке институций воспитания, обучения и педагогического образования. Ставится вопрос о признании педагогики и педагогического образования национальным достоянием и наследием. Предлагаются меры по совершенствованию российского образования.

Ключевые слова: образование, образовательное пространство, институты воспитания, обучения и педагогического образования.

Введение

Самое масштабное воздействие на реализацию национальной стратегии развития Российской Федерации оказывает образование [10]. В государственной политике и правовом регулировании отношений в сфере образования одним из основных является принцип *единства* образовательного пространства на территории Российской Федерации [12, Ст. 3.1.4]. Данный принцип занимает исходное руководящее положение и на нем строится вся система образования в России. Идея солидарного образовательного пространства предусматривает системное взаимодействие всех без исключения элементов и компонентов педагогического процесса в стране. Указанная целостность обеспечивает равенство образовательных возможностей обучающимся в любой части государства.

Тем временем соблюдение единства требует создания определенных условий и механизмов, которые будут улучшать организационные характеристики, обеспечивать эффективное решение текущих и стратегических задач в практической области. Таким важнейшим инструментом, создающим

необходимую обстановку, выступает *институция* как движущая сила определенных видов деятельности. Институция не возникает произвольно, но выражает объективные потребности. Институция обладает характерными признаками, нормами и правилами существования, способностью передвижения и укоренения в тех или иных геопространственных структурах. В общем и целом, институция определяет статусность практики и ее построение, создает определенные социальные портреты, формирует когнитивные картины, задает ролевые функции, регулирует поведение всех своих участников и пишет картины созерцаемого пространства [6]. Другими словами, институция – это самостоятельный конструкт (модуль) жизненного мира, предназначенный для обустройства географического пространства как «жилища человека».

Проблема, цель и методы исследования

Образовательное пространство Российской Федерации является характерным педагогическим производением, насыщенным смыслами социальной практики. Оно выступает активным участником всех происходящих в стране событий и перемен. Благодаря своей феноменальности образовательное пространство обладает собственным «капиталом», громадной силой и определенными алгоритмами действия. При этом главной *проблемой* остается укрепление единства образовательного пространства. В условиях многонационального государства единство и целостность образования жизненно необходимы. Эти качества обеспечиваются институциями, настроенными на решение поставленных задач.

Цель настоящей работы заключается в сущностном усмотрении *базовых институций*, отвечающих за устойчивость образовательного пространства России. Для достижения намеченного потребовался *анализ* специальных методологических источников, нормативно-правовой документации, научных и педагогических онтологий, соответствующих предмету исследования. Используемый авторами феноменологический *метод* исследования позволил составить описание рассматриваемого объекта в его исключительности и неповторимости [4, с. 25; 2 с. 247-248].

Результаты исследования

Единство как системная характеристика образовательного пространства Российской Федерации подчеркивает его структурную насыщенность и обеспечивает упорядоченность педагогической деятельности на всей территории страны. Известно, что любой вид общественной практики должен быть умным, логичным и управляемым. Поэтому «мыслящее рассмотрение» («идеация») образовательного пространства и выполнение руководящих функций касается всей структуры образования и его институций [4, с. 94-95; 12, Ст. 10.1].

Основу единства образовательного пространства закладывают федеральные государственные образовательные стандарты и требования к результатам освоения образовательных программ. Эти документы объявляют нормативы *воспитания, обучения*, определяют цели педагогической сферы и статус *педагогического образования* в России. Следовательно, целостность

образовательного пространства воплощается в функциях указанных институций, которые для этого пространства являются базовыми.

Институция воспитания существует и развивается вместе с формами народной и государственной жизни. В нынешних условиях особенно востребованным становится целенаправленное массовое воспитание, ибо оно лучше всего помогает укреплять единство нации и общую для всех законность. Через консолидацию и сплоченность народа масштабность воспитания утверждается в своем значении повсеместно. Поэтому в ходе общественных преобразований и переживаемых событий забота о воспитании становится важнейшей государственной задачей, решение которой требует серьезного ресурсного обеспечения и соответствующего программно-методического сопровождения [14, с. 73-79].

Воспитание объемлет целостного индивида и обладает определенной аксиологической плотностью. Осознание ценностной сущности воспитания должно исходить из жизни и быть очевидным для личности. Без указанного условия воспитание, как правило, ограничивается техникой общения и теряет свое истинное назначение. Здесь следует отметить, что невоспитанность и нравственная испорченность человека лежат в основе как общих преступлений, так и самых тяжких деяния против человечности [5, с. 187].

В современной и конкурентной действительности ощущение целостности человеку придает культурно-цивилизационная *идентичность*. Россия и ее мировоззренческие парадигмы сейчас подвергаются неприкрытым атакам со стороны западной разрушительной идеологии и враждебной политики. Таким образом, категория идентичности обязана рассматриваться в качестве педагогического продукта первостепенной важности. Сейчас требуется особая программа и техника воспитания сопричастности с Отечеством, познания *величия и права России быть сильной*. [3, с. 262-267; 7].

Высокую педагогическую ответственность в этом направлении несет география. Воспитательные возможности географии заключаются в том, что это наука не столько о внешнем облике, сколько об умной сущности Земли. Учебная география активно участвует в становлении феноменов гражданственности и патриотизма. Указанные характеристики личности неразрывно связаны с темой также коллективной «интерсубъективности». То есть, Родина – это комплекс мировоззрения и глубинная реальность национальной психологии.

От воспитательного процесса неотделима *институция обучения*. Сущностная связь воспитания и обучения является аксиомой. Даже тщательное изучение (штудирование) вещей без подтверждающего идеала обычно дает неустойчивую и быстро забывающуюся информацию. Таким образом, знания не должны быть нейтральными и вне эмоционального самоопределения, обеспечивающего гуманитарную практику идеальным наполнением. То есть, институция обучения обязана действовать в режиме ответственного единства человеческого сознания и опыта, отражающего ценностную неслучайность (закономерность) событийных картин [15, с. 90].

Для России особенно важным является обучение географии, ибо *Россия – это и есть сама география*. Другими словами, понимать Россию, быть её патриотом и охранителем – значит непременно изучать её географическое пространство и обращать полученные знания в происходящие и морально-нравственные веления. Тем самым география обеспечивает качество российской идентичности, ослабление или утрата которой делает общество беззащитным и склонным к деструктивным тенденциям и саморазрушению. В этой связи процессу обучения географии необходимо придать особые смысловые и дидактические формы трансляции российской идентичности для её последующей манифестации в социальной практике.

Наконец, воспитание и обучение не могут осуществляться без наличия квалифицированных педагогических кадров, отвечающих требованиям профессиональных стандартов. Качественная подготовка воспитателей, учителей, наставников, тренеров, мастеров, преподавателей возлагается на педагогическое образование. Это означает, что *институция педагогического образования* является суммативным правилом консолидации образовательного пространства, залогом общественного благополучия и укрепления суверенитета.

Взращивание педагогов в России официально началось с середины XVIII в. Первая учительская семинария появилась в 1779 г. при Московском университете. В дальнейшем была организована целенаправленная подготовка преподавателей для профессиональных учебных заведений [11; 13, с. 98].

Сейчас программы подготовки педагогических кадров в стране реализуют 229 организаций высшего образования. К общему числу вузов, готовящих педагогических работников, добавляются свыше шестисот других учебных заведений и организаций повышения профессионального мастерства этой категории тружеников. В настоящее время по программам подготовки педагогических кадров ежегодно обучается свыше 630 тыс. человек, (из них 70% по программам высшего образования, 30% – среднего профессионального образования), а по программам дополнительного профессионального образования педагогической направленности – почти 1,4 млн человек [8, с. 2-3].

Флагманом профессионального педагогического образования в нашей стране является Герценовский университет. На факультете географии успешно действует Целевая программа «Новое географическое образование». Она включает несколько научных и образовательных программ, в том числе проект «Современный учитель географии».

Важнейшую миссию на общем полигоне подготовки педагогических кадров выполняет «Академия реализации государственной политики и профессионального развития работников образования Министерства просвещения Российской Федерации» (сокращенно – «Академия Минпросвещения России»). Под ее эгидой создана и успешно действует Единая федеральная система научно-методического сопровождения педагогических работников и управленческих кадров (ЕФС). На местах функционируют региональные сегменты и научно-методические центры этой систем [1].

С целью признания особого статуса представителей педагогических профессий 2023 год в России объявлен *Годом педагога и наставника*. Примечательно, что с этого года в школах страны вводятся новые образовательные программы по наиболее значимым предметам – русскому языку, литературе, *географии*, обществознанию и истории. При этом указывается, что качество их преподавания во всех учебных заведениях должно обязательно повышаться [9].

Дискуссия

Итак, задача общества состоит в энергичном выращивании превосходных по своим характеристикам людей. Для этого самыми нужными всегда были и остаются учителя, наставники, преподаватели, академические работники, от которых происходит действительный эффект воспитательной и учебной деятельности во благо человека. Это означает, что педагогическое образование и отечественная педагогика, пронизанные традиционными ценностями индивидуальной и публичной жизни, обрели характерные черты национального достояния и наследия, отвечающего за воспроизводство коллективного мировоззрения и социальной гармонии российского общества.

Заключение

1. Единое образовательное пространство на территории Российской Федерации обеспечивает динамику и качество воспроизводства культурных ценностей и общественных благ, гарантирующих безопасность и суверенитет страны. Укрепление единства образовательного пространства России является стратегической задачей государства и общества.

2. Базовые институты воспитания и обучения, предназначенные для развития и совершенствования человека, входят в перечень национальных интересов и неизменных приоритетов России. Решающим направлением образовательной политики в настоящее время рассматривается формирование российской культурно-цивилизационной идентичности. Значительный вклад в этот процесс вносит учебная география. Эффективность отечественного образования в целом зависит от уровня ресурсного обеспечения и качественного научно-методического сопровождения. Действующие программы воспитания следует дополнить продуманными дорожными картами, развернутыми планами и специальными технологиями реализации.

3. Педагогическое образование имеет универсальное значение и является исключительной ценностью. Забота государства о работниках образования должна быть неременной и безусловной. В рамках научно-методических центров педагогических вузов необходимо развернуть «Школы предметных дидактических достижений», которые будут аккумулировать текущие образовательные новшества и передовой опыт.

Литература

[1] Академия Минпросвещения России. URL: <https://apkprou.ru/> (дата обращения: 10.03.2023)

- [2] *Валлерстайн И.* Миросистемный анализ: Введение. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2018. 304 с.
- [3] *Громыко Ю.В.* Российская система образования сегодня: Решающий фактор развития или путь в бездну? Образование как политическая технология. М.: ЛЕНАНД, 2019. 368 с.
- [4] *Гуссерль Э.* Логические исследования. Т. II. Ч. 1: Исследования по феноменологии и теории познания. М.: Академический проект, 2011. 565 с.
- [5] *Дюринг Е.* Ценность жизни. М.: КРАСАНД, 2010. 320 с.
- [6] *Иншаков О.В.* Институт и институт: проблемы категориальной дифференциации и интеграции // Экономическая наука современной России. 2010. № 3 (50). С. 26-38.
- [7] Итоги послания Путина 2023: главные тезисы речи президента. URL: https://mash.ru/text_translations/165726 (дата обращения: 10.03.2023)
- [8] Концепция подготовки педагогических кадров для системы образования на период до 2030 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/5hVUIZXA2JMcPrHoJqfohMeoToZAwTA5.pdf> (дата обращения: 10.03.2023)
- [9] Открытие Года педагога и наставника. Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/speeches/70627> (дата обращения: 10.03.2023)
- [10] Паспорт национального проекта «Образование». URL: <http://government.ru/info/35566/> (дата обращения: 10.03.2023)
- [11] Педагогическое образование 300 лет назад и в наши дни. URL: <https://deti.mail.ru/article/> (дата обращения: 10.03.2023)
- [12] Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/> (дата обращения: 10.03.2023)
- [13] *Федоров В.А., Третьякова Н.В.* Профессионально-педагогическое образование в России: историко-логическая периодизация // Образование и наука. 2017. Т. 19. № 3. С. 93-119.
- [14] *Ясперс К.* Идея университета. Минск: БГУ, 2006. 159 с.
- [15] *Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N.* The Principle of the Value Non-Randomness of Humanitarian Education / Proceedings of the 2019 International Conference on Pedagogy, Communication and Sociology (ICPCS 2019) Series: Advances in Social Science, Education and Humanities Research, Volume 315. P. 90-93.

S u m m a r y. The scale of the modern education system and the role of the educational paradigm in Russia's strategic plans are emphasized. The nature of the educational space of Russia is analyzed. The basic institutions that postulate the meanings of education and regulate the stability of the educational complex are highlighted. Attention is focused on the essential assessment of the institutions of education, training and pedagogical education. The question is raised about the recognition of pedagogy and pedagogical education as a national heritage. Measures are proposed to improve Russian education.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ ВСЕХ! ВОЗМОЖНО ЛИ?

Е.И. Алькова
ei-alkova@yandex.ru

GEOGRAPHICAL EDUCATION FOR ALL! IS IT POSSIBLE TO?

E.I. Alkova

Аннотация. В докладе выражается обеспокоенность современным положением географии в школе и вузе. Анализируется отношение ученых и руководителя государства к проблемам географии и географического образования. Предлагается вариант программы для негеографических специальностей вузов.

Ключевые слова: география, географическое образование, географические исследования, единая география, территориальное планирование.

Введение

Географическое образование в кризисе. В школе сокращаются часы на географию. В вузах – прием на географические специальности. Держатся только некоторые педагогические, но и в них наборы идут с трудом. А многие педагогические, став университетами, стыдливо убирают слово «педагогический». А раз не педагогический, значит, и учебный план другой, и педагогические практики сокращены. Беспokoясь о географии и географическом образовании, В.А. Горбанёв отмечает: «...географическое мышление у подавляющей массы россиян, вплоть до людей, принимающих решения государственного порядка, сегодня находятся на низжайшем уровне». Из 25 членов Комитета по природным ресурсам, экологии и природопользованию Государственной Думы России только один по профессии географ. Экологов вообще нет. А министр по природным ресурсам и экологии России – специалист по... автоматике и телемеханике [3].

Обеспокоенность появилась и у верховной власти. Президент России В.В. Путин дал поручения соответствующим ведомствам о популяризации географии. Комментируя эти поручения [7], президент Русского географического общества С.К. Шойгу отметил, что сейчас такой профессии как ГЕОГРАФ в России не существует. В законах нет такого вида деятельности как «проведение географических исследований». (Это не мешает, однако, существовать кандидатам и докторам ГЕОГРАФИЧЕСКИХ наук, да и самому Географическому обществу).

Обсуждение проблемы

Одной из причин слабости географических знаний у школьников и студентов называют то, что сейчас знания географии не требуется при поступлении в вузы. Это касается даже таких специальностей как «Международные отношения», «Экономика», «Туризм» и др. По этой логике специалисту – международнику или менеджеру в сфере туризма не нужно знать географию. В то время как Стратегия научно-технического развития России предполагает ответы на ряд чисто географических вызовов: демографию, территориальное развитие, освоение Арктики. Мы же не имеем качественных кадров для ее реализации. Не случайно один из важнейших пунктов поручений Президента – включение географии в

число обязательных экзаменов в вузы по ряду специальностей. Хочется надеяться, что выполнение поручений Президента позволит утверждать: География – важнейший, основополагающий предмет школьной программы, базис для университетского образования.

О ситуации с преподаванием географии высказал свое мнение редактор журнала «География в школе», академик РАО Рыжаков Михаил Викторович: «Уменьшение количества часов – это не причина, а следствие. Главная причина заключается в том, что в нынешнем виде школьная география мало кому интересна. Её образовательная ценность постоянно уменьшается. Можно сказать, что школьная география всё хуже выполняет возложенные на неё задачи (функции). Географическое знание – надёжная основа для воспитания рачительного хозяина своей страны и всей планеты как общего дома человечества. После этого можно формировать спектр целей и получить достаточно полное представление о возможной структуре и содержании нашего предмета» [5].

География зародилась как комплексная наука, описывающая и характеризующая определенную территорию. В дальнейшем география стала расчленяться на отдельные звенья. С углублением знаний об отдельных компонентах природы формируются специальные науки: геология, климатология, ботаника, зоология и др. Росли и знания о человеке и его хозяйственной деятельности: этнография, экономика, экономическая география и др. В начале такой разброс был объективным явлением. Но центробежные силы стали усиливаться, география стала терять свой объект исследования.

Попытки удержать расползание географии предпринимали многие крупные ученые. Обзор научных подходов к формированию современной географии глубоко и профессионально дан Ю.Н. Гладким [2]. Так, отмечается, что выдающийся советский географ В.А. Анучин выдвинул идею, что *география не единый комплекс наук, а единая комплексная наука*, объектом исследования которой являются не отдельные компоненты природы и общества, а географическая среда (окружающая среда) [1]. Если же каждая географическая дисциплина имеет свой предмет исследования, то она является самостоятельной, и тогда нет смысла говорить о системе географических наук. Единственным объединяющим их признаком остается «привязанность» к земной поверхности. Центральным ядром географической науки, по мнению многих ученых, должна стать теория взаимодействия природы, населения и хозяйства на конкретной территории [6]. По мере взаимопроникновения географических наук и их объединения вокруг единого предмета все труднее будет «укладывать» физическую географию в естествознание, а экономическую – в систему общественных наук и в целом – в обычную классификацию наук, которая перестает удовлетворять современным требованиям.

В.М. Котляков, в свою очередь, отмечает: «Наша наука, пожалуй, единственная, которая способна синтезировать естественно-исторический, экономический и социальный подходы в рамках целостного учения об *организации пространства*, где протекает жизнь человека во всех её проявлениях» [4, с. 179-180]. Именно на *оценке пространственного потенциала территории для её роста и*

развития на основе анализа географического положения и природных условий делается акцент в *географических исследованиях*. Так, геоморфология изучает процессы рельефообразования, выявляя типы рельефа и определяя их распространение на Земле, климатология изучает процессы климатообразования, выявляя типы климатов и их распространение на суше Земли. И так во всех науках, «географического происхождения»: география почв, география населения и т.д.

Итак, большинство концепций ориентированы на объединение, комплексность и управление пространством. Но вот вопрос: что объединяем – науки или знания, полученные этими географически направленными науками? Из этого мы и должны исходить, определяя задачи современной возрождающейся географии.

Для анализа и характеристики территории географ использует информацию о геологическом строении и рельефе, климате и водах, зональных ландшафтах и их изменении под влиянием хозяйственной деятельности человека. Для этого необходимо использовать историко-географические сведения о истории заселения и хозяйственного освоения территории. После этого характеризуется современное размещение промышленных и сельскохозяйственных объектов и населенных пунктов. Причем, исследователю не нужно организовывать комплексную экспедицию для изучения необходимых вопросов. Географ-комплексник должен уметь найти и использовать необходимую информацию для анализа рациональности и эффективности размещения объектов населения и хозяйства на территории региона.

Итак, если первые географы-путешественники открывали и описывали новые территории, проявляя мужество, решительность и преданность науке, то современные должны, опираясь на знания взаимодействий в системе «Природа-население-хозяйство», анализировать пространство, выявлять оптимальность и эффективность размещения населения и объектов производства в его пределах, прогнозировать последствия освоения, направленного на устойчивое развитие. Таким образом, география становится научной основой территориального планирования при освоении новых территорий и при реконструкции и оптимизации уже освоенных.

Для обладания такой компетенцией необходимо соответствующее образование. Для специальности «География», оно может быть близким тому, которое сейчас получает учитель географии, но с измененной структурой. Первые два курса изучается система «Природа-население-хозяйство» и взаимодействие компонентов в её составе. Причем, не выделяем науки «физическая, экономическая география и др., а изучаем блок «Природа», что она дает производству и населению, что от них возвращается в природу. Дальше – блок «Население» и как он связан с природой и производством. Наконец, блок «Хозяйство» и его связи с природой и населением. В заключении выявляем проблемы этого взаимодействия, применительно к конкретному региону, определяя мероприятия, направленные на их решение. (Истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды).

Для других специальностей (особенно экономического, строительного, сельскохозяйственного, туристического направлений) высшего образования

необходима разработка программы своеобразной дисциплины в виде «Географии для всех», с учетом специфики каждого направления. В качестве примера предлагаем программу для специальностей негеографического профиля.

Введение. География для всех

1. География как наука, учебная дисциплина, вид деятельности.

1.1. Развитие географических знаний. Источники географической информации.

1.2. Методы географических исследований.

1.3. Роль географии в решении вопросов оптимизации пространственного развития и градостроительства.

2. Взаимодействие в системе «Природа-население-хозяйство».

2.1. Характеристика и оценка природно-ресурсного потенциала (ПРП) территории, его роль в пространственной организации общества.

2.2. Место блока «Население» в системе. Трудовые ресурсы, экономически-активное население, демографические проблемы.

2.3. Виды хозяйственной деятельности человека, роль человека в изменении природной среды. Современные ландшафты.

2.4. Современные проблемы природопользования: сокращение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Мониторинг. Экологические проблемы.

3. Многоликая планета.

3.1. Основные этапы формирования Мирового хозяйства. Современная политическая карта мира.

3.2. Общая характеристика регионов и стран мира.

3.3. Зарубежный и отечественный опыт разработки стратегии пространственного развития национальных экономик.

4. Россия на карте мира.

4.1. Геополитическое положение России. Преимущества и проблемы размеров территории страны.

4.2. История заселения и хозяйственного освоения территории страны.

4.3. Проблемы территориального устройства России.

4.4. Место изучаемого региона на карте России. Оценка эффективности территориального устройства региона. Современные проблемы природопользования и охраны природы.

Литература

[1] *Анучин В.А.* Теоретические проблемы географии. М., 1960, 264 с.

[2] *Гладкий Ю.Н.* Гуманитарная география. СПб., 2010. 554 с.

[3] *Горбанёв В.А.* Ещё раз о единой географии. Международный научно-исследовательский журнал. Географические науки, № 10, 2016.

[4] *Котляков В.М.* Наука. Общество. Окружающая среда. М.: Наука, 1997, С. 179-180.

[5] Рыжаков М.В. Беседа с корреспондентом издательской группы «Дрофа-«Вентана – граф». 22 июля 2016.

[6] Трофимов А.М., Шарыгин М.Д. Общая география. Вопросы теории и методологии. Пермь, 2007.

[7] Шойгу С.К. Комментарии к перечню поручений Президента Путина В.В. Правительству РФ о популяризации географии 15 мая 2019 г. Источник: www.Kremlin.ru

S u m m a r y. The report expresses concern about the current situation of geography in school and university. The attitude of scientists and the head of state to the problems of geography and geographical education is analyzed. A variant of the program for geographical specialties of universities is proposed.

О ТВОРЧЕСКОМ НАСЛЕДИИ А.Е. ФЕРСМАНА: К 140-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Ю.Л. Войтеховский

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, vojtehovskij@herzen.spb.ru

ABOUT THE CREATIVE HERITAGE OF A.E. FERSMAN: TO THE 140TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH

Yu.L. Voytekhovsky

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. В статье впервые публикуются два исторических документа, имеющие отношение к биографии академика А.Е. Ферсмана и найденные автором в архиве профессора Д.П. Григорьева, хранящемся в Российском минералогическом обществе. Это «Краткая автобиография...» и характеристика «О научной деятельности...», написанная В.А. Обручевым, в то время академиком-секретарем Отделения геолого-географических наук АН СССР. Анализ текстов позволяет выявить смещение акцентов в оценке творческого наследия А.Е. Ферсмана за прошедшие 80 лет.

Ключевые слова: Д.П. Григорьев, В.А. Обручев, А.Е. Ферсман, Урал, Хибины, геохимия, минералогия, полезные ископаемые, история науки.

Введение

В этом году отмечается 140 лет со дня рождения прославленного минералога и геохимика академика А.Е. Ферсмана, что является хорошим поводом для осмысления его огромного и разностороннего творческого наследия. В архиве выдающегося минералога, создателя учения об индивидуальном развитии (онтогении) минералов профессора Д.П. Григорьева [1, 2], хранящемся в Российском минералогическом обществе, автором недавно обнаружены два ранее не опубликованных документа, имеющих отношение к биографии академика и написанных незадолго до его смерти: «Краткая автобиография...» и характеристика «О научной деятельности...», данная В.А. Обручевым, с 1942 г. по 1946 г. академиком-секретарем Отделения геолого-географических наук АН СССР. С 1942 г. до смерти в 1945 г. А.Е. Ферсман был его заместителем. Эти документы позволяют оценить, как изменилось отношение к наследию А.Е. Ферсмана в связи с изменением геополитических и социально-экономических условий жизни за 80 лет,

прошедших с момента их написания. Библиографические ссылки в оба текста вставлены нами.

Краткая автобиография академика А.Е. Ферсмана

Д.П. Григорьеву (*пометка чернилами – Ю.В.*)

Я родился в 1883 г. в г. Ленинграде. Окончив классическую гимназию в г. Одессе в 1901 г., я поступил сначала в Новороссийский университет на физико-математическое отделение, где работал у профессора Пренделя, а один год посвятил изучению политической экономии, истории культуры и истории искусства. Позднее перешел в Московский университет на то же отделение и работал в лаборатории академика В.И. Вернадского. В 1907 г. я окончил университет и был при нем оставлен для подготовки научной работы.

С ранних детских лет я заинтересовался минералогией и геологией, чему способствовала профессорская среда, среди которой жила моя семья. С 6-тилетнего возраста, почти каждый год, я принимал участие в поездках и путешествиях, во время которых собирал минералы и знакомился с геологией.

За время с 1907 г. по 1910 г. несколько раз я был командирован для усовершенствования в заграничные научно-исследовательские институты, где преимущественно работал в Гейдельберге (Германия) в лаборатории профессора Гольдшмидта и профессора Розенбуша, занимаясь исследованием алмаза, в Париже у профессора Лакруа, вел исследования в Италии на о. Эльба, знакомился с многочисленными месторождениями минералов в Швейцарии, Германии, Франции, Италии и др. местах.

Вернувшись в Москву, я приступил к организации Народного университета им. Шанявского, где был в 1910 г. избран первым профессором минералогии. В 1912 г. я был избран профессором Бестужевских курсов в Ленинграде, куда одновременно был переведен из Московского университета на должность старшего ученого хранителя в Минералогический музей Академии наук.

В эти годы я начал первые экспедиции на Урал, где изучал драгоценные камни [3] и связанные с ними пегматиты. Этот же интерес к пегматитам привел меня к многочисленным и детальным поездкам по нашему Союзу, а также заграничным пегматитовым месторождениям, главным образом в Швеции. С начала империалистической войны 1914 г. моя работа переключена была на изучение полезных ископаемых, с чем были связаны мои поездки на Алтай, Сев. Монголию, Забайкалье и мн. др.

В 1919 г. избран в действительные члены Академии наук и избран на должность директора Минералогического музея Академии наук. С этого времени и до настоящего момента я занимал и частью занимаю и теперь многочисленные административные посты, а именно: члена президиума Академии наук, вице-президента, секретаря отделения математических и естественных наук (ОМЭН), председателя Совета по изучению производительных сил Союза, председателя экспедиционных исследований, директора типографии, руководителя издательским делом, директора Радиевого института, директора Уральского филиала АН, директора Кольской базы, директора Ломоносовского института, директора Ильменского минералогического заповедника и мн. др. должности по Академии наук.

Из вне-академических должностей отмечу: организатор Института археологической технологии, где состоял руководителем много лет, был инициатором и директором Института аэрофотосъемки, геодезии и картографии, председатель бюро НИСа наркомата тяжелой промышленности и мн. др.

На протяжении всего этого времени я выполнял и выполняю много общественной работы в различных учреждениях, а именно: был членом ЦИК Туркменской ССР, членом ЦИК Кара-Калпакской АССР, членом Челябинского облисполкома, Миасского райсовета, членом Хибинского горсовета, делегатом на Всесоюзные, Всероссийские, областные и районные съезды, организатор и руководитель краеведческих обществ и т. д. Был одним из организаторов Дома ученых в Союзе и заместителем М. Горького по организации и ведению Дома ученых в Ленинграде.

За последние 25 лет руководил многочисленными научными экспедициями и сам принимал участие в экспедициях на Кольском п-ове, в Карелии, на Урале, в Крыму, на Кавказе, в Кара-Кумской пустыне, на о. Челекен (*в 1930-х стал полуостровом из-за понижения уровня Каспийского моря – Ю.В.*), Таджикистане, Узбекистане, Прибайкалье, Забайкалье и т. д.

Особое внимание было обращено на экспедицию в Кара-Кумы, в результате которой был построен Серный завод, первый в СССР, а также Хибины на Кольском п-ове, в результате которой явилось создание нового заполярного центра промышленности в г. Кировске и в г. Мончегорске (апатит, никель). Кара-Кумские и хибинские экспедиции явились основной моей полевой научной деятельностью за эти годы. Основное направление моей научной работы может быть сведено к следующим пунктам:

1) Начиная с 1907 г., я заинтересовался пегматитами, но лишь через 25 лет смог опубликовать свои выводы по изучению этих важных образований земной коры [7].

2) С проблемой пегматитов было тесно связано изучение драгоценных камней, которым было посвящено несколько моих монографий [3, 6, 8].

3) Вопросы происхождения пегматитов привели меня к изучению вопросов генезиса минералов, а те в свою очередь – к проблемам геохимии, изучению которой были посвящены последние 20 лет [4].

4) Изучение геохимии заставило меня перейти к вопросам приложения общих физико-химических теорий к геохимическим процессам и к энергетическому анализу природных процессов [5].

5) Указанные исследования геохимического характера непосредственно вытекали и в свою очередь проникали в область изучения полезных ископаемых [9].

6) Последние мои работы посвящены именно этому вопросу – нахождение законов распределения химических элементов и полезных ископаемых в земной коре и методике их поисков для промышленности нашего Союза.

Число публикаций выражается в числе около 650. Награды:

1) Золотая медаль им. Антипова за лучшую исследовательскую работу молодых ученых в 1913 г. от Всероссийского минералогического общества. (*Медаль им. Антипова от Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества А.Е. Ферсман получил за работы по минералогии п-ова Крым, о. Эльба и цеолитам России в 1909 г. – Ю.В.*)

2) Премия им. Ленина (10.000 р.) в 1928 г. за работу по химизации Союза. Выдана Комиссией по химизации Совнаркома СССР.

3) Большая медаль, выданная Бельгийским университетом в 1936 г. за работы по геохимии.

4) Премия им. Сталина I степени в 1942 г. (200.000 р.) за труд «Полезные ископаемые Кольского п-ова».

5) Медаль им. Волластона присуждена в 1943 г. Лондонским геологическим обществом – высочайшая геологическая почеть в мире.

О научной деятельности академика А.Е. Ферсмана

Академик А.Е. Ферсман – крупнейший представитель передовой науки, глава советской школы минералогов и геохимиков, проделавший огромную работу по развитию этих областей знания, по расширению минерально-сырьевой базы СССР и по развитию новых отраслей отечественной химической промышленности.

Научные работы А.Е. Ферсмана входят в число лучших произведений специальной научной литературы. Им опубликовано свыше 700 трудов, в том числе ряд многотомных сочинений. А.Е. Ферсману принадлежит место одного из основателей новой науки – геохимии [4, 5], внесшей новые методы в поиски и изучение месторождений полезных ископаемых. Основы этой науки изложены им в четырехтомном труде «Геохимия». Труд А.Е. Ферсмана «Драгоценные и цветные камни СССР» [3] впервые полно осветил богатства нашей страны этими минералами. Его монография «Пегматиты» [7] выдержала 3 издания и служит руководящим пособием для всех исследователей пегматитовых жил и связанных с ними полезных ископаемых. Труд А.Е. Ферсмана «Полезные ископаемые Кольского п-ова» [9] в 1941 г. был отмечен Сталинской премией. (*Это было в 1942 г. – Ю.В.*) С глубоким научным изучением минералов и руд А.Е. Ферсман сочетает редкий талант популяризатора. Своими многочисленными научно-популярными книгами и статьями А.Е. Ферсман много способствовал возбуждению и росту интереса советской молодежи к изучению полезных ископаемых [6, 8].

Почти каждый труд А.Е. Ферсмана является примером, показывающим значение научных исследований для народного хозяйства страны. При ближайшем участии А.Е. Ферсмана была поставлена на должную высоту добыча изумрудов и бериллов на Урале, организована радиевая промышленность на базе тунгусских руд и ухтинских нефтеносных вод, начата добыча серы в Каракумах, поставлено изучение сурьмяно-ртутных и ванадиевых месторождений Ср<едней> Азии, вольфрамовых, оловянных и молибденовых руд Забайкалья и Дальнего Востока.

А.Е. Ферсман провел большую работу по созданию сырьевой базы для северной горной промышленности на основе хибинских апатитов и нефелинов,

редкоземельных руд и ниобовых месторождений Ловозерских тундр и никелевых месторождений Монче-тундры.

Особо следует отметить энергичную деятельность А.Е. Ферсмана как организатора работ по обслуживанию фронта и оборонной промышленности [10]. С самого начала отечественной войны А.Е. Ферсманом была создана комиссия по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии, оказавшая существенную помощь инженерному комитету К<расной> А<рмии>, ГУ ВВС (*Главное управление военно-воздушных сил – Ю.В.*), ГАУ (*Главное артиллерийское управление – Ю.В.*), Ген<еральному> штабу. Деятельность А.Е. Ферсмана в этом направлении началась еще в период войны 1914-1918 гг., когда он был одним из инициаторов создания и активным участником Военно-химического и Военно-промышленного комитета (*созданы в 1915 г. – Ю.В.*) и КЕПСА АН СССР по изучению стратегического сырья *Комиссия по изучению естественных производительных сил России при Императорской Санкт-Петербургской Академии наук создана по инициативе и под председательством В.И. Вернадского, секретарем на первом заседании 11 октября 1915 г. избран А.Е. Ферсман. – Ю.В.*). Все эти работы целеустремленно направлены на усиление оборонной мощи нашей Родины.

Научные и научно-общественные организации СССР и заграницы высоко ценят талантливую деятельность А.Е. Ферсмана. За свои работы он награжден золотой медалью и почетным отзывом Всероссийского минералогического общества (*о золотой медали им. А.И. Антипова см. выше, в 1924 г. вместо нее учрежден «Почётный отзыв им. А.И. Антипова» без премии, но с прежним статусом; в 1925 г. им награждены участники Хибинской экспедиции А.Е. Ферсман, Э.М. Бонштедт, Н.Н. Гуткова, Е.Е. Костылева, В.И. Крыжановский, Б.М. Куплетский, А.Н. Лабунцов, Г.П. Черник – Ю. В.*), большой медалью Бельгийского университета, Лондонским геологическим обществом награжден высшей научной наградой в области геологии – медалью им. Волластона. В 1928 г. Комиссией по химизации СНК СССР А.Е. Ферсману присуждена премия им. Ленина. В 1942 г. А.Е. Ферсман удостоен премии им. Сталина 1-й степени.

А.Е. Ферсман является выдающимся ученым нашей страны, отдающим все свои силы и знания делу развития советской науки и мобилизующим на службу Родине широкие круги ученых нашей страны.

Академик-секретарь
отделения ГГН АН СССР
академик

В.А. Обручев

Обсуждение и выводы

В первую очередь заметим, что оба текста точно не датированы. Но в обоих есть ссылка на медаль им. Волластона, присужденную А.Е. Ферсману к его 60-летию 8 ноября 1943 г. В то же время за выдающиеся заслуги в области геологических наук, в связи с 60-летием со дня рождения и 40-летием научной деятельности советское правительство наградило его орденом Трудового Красного Знамени. Он почему-то не указан в автобиографии в списке наград, не упоминает

его и В.А. Обручев. Умер А.Е. Ферсман в г. Сочи, находясь на лечении в санатории им. Я. Фабрициуса, 20 мая 1945 г. В.А. Обручев исполнял обязанности академика-секретаря Отделения геолого-географических наук АН СССР с 1942 г. по 1946 г. Таким образом, дата написания обоих документов – с ноября 1943 г. по май 1945 г. Но каков повод? Автобиографии и характеристики пишутся в положительном ключе при переводе на более высокую должность и представлении к награде. Ни того, ни другого в указанный период не было. Выскажем гипотезу, что этому помешала смерть А.Е. Ферсмана. Можно даже предположить, что В.А. Обручев готовил себе преемника на посту академика-секретаря Отделения геолого-географических наук АН СССР, который он оставил в 1946 г. Тогда, скорее всего, документы следует датировать концом 1944 г. – началом 1945 г.

С учетом военного времени вполне понятны акценты, очевидные в обоих документах – то, что ведет к успешному поиску полезных ископаемых: все – для фронта, все – для Победы! На это ориентированы, по словам В.А. Обручева, даже научно-популярные книги и статьи А.Е. Ферсмана. Заметим, что в автобиографии они даже не упоминаются. Через 80 лет после его кончины можно сказать, что все развивавшиеся им научные и прикладные направления состоялись и развиваются: геохимия выросла в самостоятельную науку, пегматиты – пограничная область нескольких дисциплин (петрология, генезис полезных ископаемых, минералогия, в том числе драгоценных камней), работают рудники на Урале и Кольском п-ове, в Забайкалье...

Интенсивная отработка недр и мирное время продвинули и другие формы активности: минералогические заповедники, музеи и природный туризм – у их истоков в нашей стране тоже стоял А.Е. Ферсман. Вместе с Н.М. Федоровским он был инициатором создания Ильменского минералогического заповедника в 1920 г. Недавнее создание ООПТ в Хибинах – отдаленный аналог этой инициативы. С 1912 г. он был старшим хранителем Геологического и минералогического музея Императорской Академии наук, в 1919-1930 гг. – его директор (сегодня это Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана в Москве).

Где бы ни работал А.Е. Ферсман, там создавались коллекции минералов, со временем превратившиеся в региональные минералогические музеи. Пример – Минералогический музей Геологического института КНЦ РАН, созданный директором института И.В. Бельковым (сегодня музей носит его имя) после переезда Кольского филиала АН СССР в Новый город (ныне г. Апатиты) из пос. Ку-кисвумчорр, улицы которого помнят А.Е. Ферсмана, на основе коллекций, начало которым было положено им еще на научно-исследовательской станции «Тиетта» на берегу оз. Малый Вудъявр в Хибинах. Другой пример – Музей им. А.Е. Ферсмана (он руководил кафедрой геологии в 1918 г.) на географическом факультете РГПУ им. А.И. Герцена.

А.Е. Ферсман был ярким пропагандистом природного туризма. По его инициативе и под его научной редакцией изданы первые путеводители по Хибинам и другим районам Кольского п-ова, к тому времени освоенным геологами. Путеводители по Хибинам и приграничной территории [11, 12], изданные по результатам международного проекта Геологической службой Финляндии (Северный

офис в г. Рованиеми, 2012-2014 гг.), автор рассматривает как продолжение инициатив и традиций, щедро заложенных А.Е. Ферсманом.

Так, «Баренц-тур для геотуристов» [12] – первый путеводитель о природе, истории ландшафта и геологических достопримечательностях северной Фенноскандии. Эта область охватывает север Норвегии и Финляндии, а также северо-запад России. В основе книги лежат описания интересных коренных подстилающих пород и геологических объектов четвертичного периода: редкие типы пород и минералов, котловины, эскеры, береговые террасы и бугристые болота. Маршрут включает 26 объектов, из них 14 в Финляндии, 4 в Норвегии и 8 на Кольском п-ове, Россия. Объекты расположены по маршруту, который пролегает через северную Финляндию от Саллы до Нянтямё, продолжается на территории Киркенеса в Норвегии, затем на Кольском п-ове на Печенге, в Хибинах и Кандалакше. Его можно начать от любого объекта и пройти частично или целиком, что займёт неделю.

Цель книги – развитие приграничного природного туризма и презентация форм рельефа, типов пород и месторождений полезных ископаемых в качестве туристических достопримечательностей. Она нацелена на повышение осведомлённости школьников, студентов, местного населения и владельцев туристического бизнеса, способствует долгосрочному развитию туристического бизнеса в Баренц-регионе. Все это – в духе А.Е. Ферсмана.

Литература

- [1] Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Львов: Изд. Львов. ун-та, 1961. 281 с.
- [2] Григорьев Д.П. Основы конституции минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 63с.
- [3] Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни России. Петроград: 4-я Гос. тип., 1920. 423 с.
- [4] Ферсман А.Е. Геохимия России. Петроград: Науч. хим.-тех. изд-во, 1922. 229 с.
- [5] Ферсман А.Е. Химические элементы Земли и Космоса. Петербург: Науч. хим.-тех. изд-во, 1923. 175 с.
- [6] Ферсман А.Е. Занимательная минералогия. Л.: Изд-во «Время», 1928. 318 с.
- [7] Ферсман А.Е. Пегматиты, их научное и практическое значение. Т. 1. Гранитные пегматиты. Л.: Изд-во АН СССР. 1931. 646 с.
- [8] Ферсман А.Е. Воспоминания о камне. М.: Худ. лит., 1940. 137 с.
- [9] Ферсман А.Е. Полезные ископаемые Кольского п-ова. Современное состояние. Анализ. Прогноз. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 345 с.
- [10] Ферсман А.Е. Геология и война. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1943. 44 с.
- [11] Voytekhovskiy Yu.L., Johansson P., Lauri L.S., Miroshnichenko T.A., Räisänen J. Khibiny Tundra. Geological outdoor map 1:50 000 and guidebook. Finland, Rovaniemi: Grano Oy, 2014. 56 p. (Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences & Geological Survey of Finland. ABCGheritage Project. The production of this book is financed by EU Kolarctic ENPI CBC)
- [12] Johansson P., Lauri L.S., Voytekhovskiy Yu.L. Barents tour for geotourists. Finland, Rovaniemi: Grano Oy, 2014. 117 p. (Geological Survey of Finland & Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences &. ABCGheritage Project. The production of this book is financed by EU Kolarctic ENPI CBC)

S u m m a r y. The article for the first time publishes two historical documents related to the biography of Academician A.E. Fersman and found by the author in the archive of Professor D.P. Grigoriev, stored in the Russian Mineralogical Society. This is a «Brief autobiography ...» and a characteristic «About scientific activity...» written by Academician V.A. Obruchev, Secretary of the Department of Geological and Geographical Sciences of the USSR Academy of Sciences that time. The analysis of the texts allows us to reveal a shift in emphasis in the assessment of the creative heritage of A.E. Fersman over the past 80 years.

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОТУРИЗМА В СОХРАНЕНИИ ГЕОНАСЛЕДИЯ

Ю.Н. Голубчиков¹, В.И. Кружалин²

Московский государственный университет, Географический факультет,

¹golubchikov@list.ru, ²v.kruzhalin@gmail.com

THE VALUE OF GEOTOURISM IN THE CONSERVATION OF GEOHERITAGE

Yu.N. Golubchikov¹, V.I. Kruzhalin²

¹ ²Moscow State University, Faculty of Geography

Аннотация. Статья формулирует отечественные и зарубежные сведения о современном состоянии геотуризма и ресурсах для его дальнейшего развития. Обосновано значение красивых пейзажей в краеведении, оздоровлении и геотуризме. Такие места являются значимыми памятниками геонаследия и в некоторых случаях заслуживают обретения статуса национальных парков и геопарков. Рассмотрены различия между этими парками и значение геопарков в консервации геонаследия. Рассмотрены возможности геотуризма в расширении предметного поля геологии, географии и геоморфологии. Как и экотуризм, геотуризм является составной частью научного туризма. В его рамках от любительски занимающихся наукой людей можно ожидать верификации научного знания. Результаты работы представляются необходимыми для становления теории геонаследия.

Ключевые слова: геотуризм, георазнообразие, геопарки, геонаследие, геоморфологические экскурсии и походы, научный туризм.

Введение

В современной России престиж профессий геолога или геоморфолога стал невелик. Падают конкурсы на геологические специальности вузов. Для государства, живущего за счёт минерального сырья, создавшееся положение стратегически очень опасно. Проблема во многом, заключена в молодых кадрах. Как привлечь молодёжь в геологию? Ввести в школе соответствующий предмет? Но он скорее оттолкнёт своей терминологией и непонятными картами с возрастом пород.

Увлечь геологией наиболее эффективно наблюдениями за современными процессами и явлениями, преобразующими формы рельефа. В этом свете возрастает значение геоморфологических экскурсий и походов, иными словами геотуризма.

Объекты и методы

Объектом исследования являются определения геотуризма и вытекающие из них методические приемы туристского постижения географической среды.

В определениях геотуризма прослеживается два подхода. В первом геотуризм акцентирован именно на геологические объекты, позволяющие «туристам приобретать знание и понимание геологии и геоморфологии выше уровня простой эстетической оценки» [18, р. 221]. Другой, более широкий географический подход, полагает, что геотуризм прежде всего сосредоточен на красоте геологических объектов и их ландшафтного окружения. В определённой степени этот подход возрождает географический детерминизм.

Методологической основой второго подхода служит социальная геоморфология, обоснованная в книге В.И. Кружалина, Ю.Г. Симонова, Т.Ю. Симоновой [9]. В его основе лежит представление, что для развития большинства видов геотуризма необходимы эстетические и историко-культурные ресурсы. Вслед за В.А. Николаевым и А. Гумбольдтом мы полагаем, что путь к постижению прекрасного лежит через знание и, наоборот, к знанию путь зачастую ведёт через созерцание прекрасного [12]. Основой прекрасного ландшафта, как правило, служит каркас морфолитогенной основы и создаваемые им перепады рельефа. Они образуют наиболее эстетически и интеллектуально значимые элементы географической среды.

Особый интерес вызывают сочетания морфолитогенной основы с объектами истории, культуры и архитектуры. Ярче всего они прослеживаются в горах. В рамках культурной геоморфологии, геотуризм взаимодействует с искусством [20]. Это направление изучает каменные материалы, из которых создавались памятники, скульптуры, архитектурные сооружения.

Геотуризм именуют абиотической параллелью экотуризма [17]. Мы рассматриваем геотуризм и экотуризм как части научного туризма. В то же время геотуризм тесно переплётен с ландшафтотерапией [3].

Нередко пишут, что геотуризм зародился в Европе в середине 90-х годов XX века. Но разве не был его приверженцем Гёте, совершавший геологические путешествия в горы Гарца, Богемии, Швейцарии, Италии? Основоположник отечественной школы геотуризма Н.А. Гвоздецкий полагал, что люди испокон веков питали интерес к таинственным пещерам, о чем свидетельствуют наскальные палеолитические рисунки на их стенах [1]. Не менее древен их интерес и к вершинам, многие из которых обожествлялись.

Обсуждение результатов

Во многих странах мира геотуризм развивается на основе геопарков, в том числе под эгидой ЮНЕСКО. Геопарки определяются ЮНЕСКО [19] как «географические районы, где объекты геологического наследия являются частью целостной концепции защиты, образования и устойчивого развития». Именно геопарки играют все большую роль в развитии геотуризма в силу лучшего маркетинга, инфраструктурной обеспеченности и разнообразия предоставляемых услуг [14].

Если геопарки не принадлежат к ООПТ, то они не предполагают изъятия территорий из хозяйственного использования. Тем самым, геотуризм отличается от экотуризма, сконцентрированного скорее на изоляции объектов от антропогенного воздействия. В таком понимании понятия «геотуризм» и

«геопарк» полностью вписываются в концепцию социальной геоморфологии В.И. Кружалина с соавторами [9].

К 2020 году насчитывалось 161 геопарков в 44 странах, объединённых в глобальную сеть Global Geopark Network [19]. В большинстве геопарков геологические процессы и явления представлены настолько хорошо, что их можно рассматривать как храмы или музеи под открытым небом [17]. В одном Китае организовано 31 глобальных геопарков мира, 9 геопарков насчитывается в Японии [19]. Отмечается, что для Китая и Японии геопарк не просто модель устойчивого развития. Это региональное развитие в целом, которое подразумевает три важных компонента: сохранение наследия, развитие местного сообщества и экономическое развитие [16].

Россия в этом списке представлена только одним геопарком «Янган-Тау» в Салаватском районе Башкортостана созданном 2018 г. В 2021 г. ему присвоили статус ЮНЕСКО и признали Глобальным геопарком.

В России на 1998 год насчитывалось свыше 2000 геологических памятников природы регионального значения [2]. Эти объекты были предложены, главным образом, в 70-80-е годы XX века Всероссийским обществом охраны природы (ВООП). Главным критерием отнесения объектов к геологическим памятникам для ВООП являлась их рекреационная (красивые ландшафты, экзотические формы рельефа, и т.д.) или бальнеологическая (источники минеральных вод) ценность. Значительно реже основанием для выделения геологических памятников являлась их научная ценность [13]. В результате многие геологические объекты всемирного и национального значения не получили статуса геологических памятников и могут быть утрачены.

К наиболее значимой группе объектов российского геотуризма с первоочередной организацией геопарка ЮНЕСКО может, на наш взгляд, быть отнесена Кругобайкальская железная дорога (КБЖД), являющаяся также историко-архитектурным и инженерным памятником начала XX века. Часть ее (от Култука до Байкала) отнесена к Прибайкальскому национальному парку, но восточная часть дороги не входит в ООПТ. По количеству разного рода работ, приходящихся на 1 км пути, и по трудности их выполнения КБЖД превзошла все построенные рельсовые пути в мире. Она по праву считается красивейшей среди железных дорог и насчитывает 40 тоннелей [10].

Важным ресурсом георазнообразия служат подземные шахты и карьеры. Горнорудный туризм на их основе распространен в Польше (шахты Величка и Бохни), Швеции (железорудные шахты г. Кирин), Чехии (серебряный рудник Кутна Гора), Словакии (золоторудная шахта Банска Штявница), Чили (медный рудник Чукикамата), ЮАР (алмазные шахты Кимберли), Австралии (золотые шахты г. Теннант Крик).

В России тоже есть подобный опыт. Добыча мрамора на протяжении сотен лет на Рускеальском месторождении в северном Приладожье привела к созданию крупных подземных камер – залов, штолен, шахтных стволов. После советско-финской зимней войны (1939-1940 гг.) работы по добыче мрамора были прекращены, а подземные выработки затоплены. На их основе утвержден

памятник горно-индустриального наследия, а затем и природный парк. Считается, что при умелом использовании, зонировании, интеллектуальном насыщении этот объект может стать лучшим «геопарком Европы» [10].

Планируется создание трансграничного геологического парка под эгидой ЮНЕСКО «Ингерманландия» вдоль линии Балтийско-Ладожского глинта – уникального уступа в рельефе длиной 1200 км. Непосредственно вблизи глинта расположен ансамбль Царского села. В некотором отношении дворцово-парковые ансамбли в окрестностях Петербурга можно рассматривать предшественниками экопарков и геопарков [8]. Но если шведско-эстонская часть глинта готова к получению подобного статуса, то в российской части уступ в рельефе зачастую воспринимается как готовая протяженная яма для полигонов ТБО [11].

Фактически уничтожен при разработке Кипарисовского карьера на юге Приморья уникальный каменный лес. На его базе ДВГИ предполагал создать научно-познавательный «Геопарк неогенового периода “Кипарисовский карьер”», который остался теперь только в экспозиции музея [15]. Геопарк мог бы стать местом туристического паломничества и принести гораздо больше прибыли краю и владельцу карьера, чем полученный путем его разрушения цемент.

Есть и вдохновляющие примеры. В 2019 г. под угрозой уничтожения оказались уникальные Стерлитамакские шиханы – палеозойские известняковые рифы. Фирма «Сода», планировала их разработку на известняки. Начались протесты людей со всей Башкирии. Наконец, в декабре 2022 г., шиханы Башкирии, а именно горы Торатау, Юрактау и Куштау вошли в предварительный список объектов, претендующих на статус Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Из всех видов туризма, геотуризм, пожалуй, в наиболее обостренном виде вводит человека в состояние поиска, объединяет эстетическое восприятие с размышлениями о тайне, обучает через сопричастность с ней. «Представляется обязательным рассмотрение гипотез и концепций, не согласных с современными консервативными взглядами. Разумеется, в ненавязчивой форме. Сказанное будет соответствовать двухполюсному состоянию всех явлений на планете (биполярности), балансу сил. Такой подход будет только способствовать развитию из студентов мыслящих членов Общества, дальнейшему воспитанию ими уже школьников. Тем легче Наука География будет воспринимать прорывные идеи, а государство найдет возможность их скорейшей поддержки», – отмечает выдающийся географ современности Ал.А. Григорьев [5, с. 198].

Все, что касается генезиса лежит в области научной фантастики. Мы не знаем, что у нас под ногами в двух десятках километров. Судим о том лишь по прохождению продольных сейсмических волн. Но когда стали бурить сверхглубокую скважину на Кольском полуострове до 12 км, то с 6 км там оказалось все не так, как ожидалось. Никакой границы между гранитным и базальтовым слоями, читаемой по сейсмозондированию, не обнаружилось. До 12 км глубины продолжались гранито-гнейсы, пористость которых, вопреки предсказаниям, резко возросла, как и температура. По порам гуляли горячие растворы. Иными словами, сейсмозондирование успешно работает лишь до определенных глубин. Кольская сверхглубокая скважина бурилась в

окрестностях города-завода Никель с 1970 по 1994 гг. и достигла рекордной в мире глубины 12262 м. До сего времени остается непревзойденной в мире по глубине. В 1992 году скважина была законсервирована и теперь разрушается.

Германская же сверхглубокая скважина «Хауптборунг» бурилась с 1990 по 1994 гг. и достигла 9 км. Затем обрела статус туристического объекта и музея, т.е. превратилась в лабораторию для наблюдений за земными недрами

Сегодняшняя реальность такова, что история, не будучи оформленной в турпродукт, предается забвению. Венеция не сохранилась бы без туризма и «музеизации». Не является исключением и геологическая природа. Она тоже не выживет без постоянного интереса к ней населения, увлеченного туризмом и путешествиями.

Особое место в геотуризме занимают каменные изваяния, нередко сопряженные с древнеисторическими артефактами. Многочисленные сейды, менгиры, лабиринты, огромные зооморфные и антропоморфные скалы-останцы, скальные и пещерные святилища, стелы и другие мегалитические сооружения зафиксированы по всей территории России. Самые знаменитые и наиболее зрелищные из них Ленские столбы, Красноярские столбы, Маньпупунерские столбы на Северном Урале, меловые скалы в Дивногорье в Воронежской области.

Ал.А. Григорьев приходит к выводу о необходимости выделения причудливых каменных образований, подобий изваяний, в самостоятельный объект туризма. За рубежом именно к таким объектам организуются туры. Причём в одних случаях их считают природными, в других – рукотворными, что не имеет особого значения для путешественников [6].

Большинство подобных объектов находятся на особо охраняемых природных территориях, но их реальная охрана осуществляется лишь в заповедниках и, частично, в национальных парках. Многие древние сакральные места в последние годы подвержены активному разрушению и уничтожению, что связано с проявлением воинствующего вандализма [4]. Некоторые из каменных изваяний никак не охраняются. К их числу относится Парк драконов (название народное) на юго-восточном склоне Партизанского хребта Южного Сихотэ-Алиня, в Лазовском районе с грандиозным скоплением мегалитов, включая висячие камни и каменные изваяния. Скалы, подвергшиеся рукотворной обработке, достигают 30 м. Парк особенно интересен изваяниями ящеров и драконов. Самый большой из них имеет длину 800 м [6].

Должного интереса научного сообщества мегалитические находки не вызывают. По научным воззрениям они могут быть где-то в Европе, но никак не в России. Однако в туризме наука переплетается с легендами и мифами. Никто достоверно не видел чудище Лох-Несса, есть оно там или нет. Однако, миллионы долларов крутятся вокруг загадочного озера. Не меньше оснований привлечь туристским потоки к российским мегалитам [6, 7]. Многие из них «родные братья» самых известных мегалитических феноменов вроде Стоунхенджа или египетских пирамид [6].

Выводы

1. В России можно ожидать расширение сети геопарков, создаваемых по подобию Глобальных геопарков ЮНЕСКО. Их следует комплексировать с сохранением биоразнообразия и экологическим туризмом.

2. С геотуризмом идёт диверсификация туристической деятельности с упором на альтернативное занятие наукой. Можно надеяться, что этот один из самых серьёзных видов отдыха явится школой любознательности и самостоятельного мышления.

3. Геотуризм расширяет устоявшуюся базу геоморфологических исследований за счет включения в нее, с одной стороны, шахтно-рудного наследия и коллекционирования, с другой стороны, культурной геоморфологии и эстетики георазнообразия. Как ни один из видов деятельности способствует геотуризм возвышению геоморфологической науки в обществе.

Литература

- [1] *Гвоздецкий Н.А.* Карст. М.: Мысль, 1981. 214 с. (Природа мира).
- [2] Геологические памятники природы России / А.М. Карпунин, С.В. Мамонов, О.А. Мироненко и др. М.: Лориен, 1998. 256 с.
- [3] *Голубчиков Ю. Н., Кружалин В. И.* Ландшафтно-терапевтические приложения краеведения и туризма // Профессорский журнал. Серия: рекреация и туризм. 2019. № 2. С. 71-78.
- [4] *Горбатовский В.В.* Геологические образования – сакральные объекты народов России // Уникальные геологические объекты России: сохранение и рекреационный потенциал. Междунар. конф. М.: ВСЕГЕИ, 2013. С. 31-34.
- [5] *Григорьев Ал.А.* Звезды географии в Герценовском университете. Размышления и воспоминания. СПб: Астерион, 2019. 208 с.
- [6] *Григорьев Ал.А.* Каменные изваяния России – игра природы? Географические аспекты (Серия «География культуры»). СПб.: Астерион. 2021. 236 с.
- [7] *Григорьев Ал.А.* Каменные образования – подобию древних изваяний как аттрактивные объекты туризма // Вестник МГОУ, Географическая среда и живые системы. 2022 №4, С. 145-161. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-4-145-161>
- [8] *Григорьев Ал.А.* Дворцово-парковые ансамбли в окрестностях Петербурга // Самые привлекательные места для туризма в России. М. Медиа-ПРЕСС, 2022. С. 91-109.
- [9] *Кружалин В.И., Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Человек, общество, рельеф: Основы социально-экономической геоморфологии. М.: Диалог культур, 2009. 128 с.
- [10] *Левицкий В.И.* Уникальные геологические объекты Восточной Сибири – рекреационный потенциал познавательного, учебного, научного туризма (проблемы сохранения, классификации, рационального природопользования) // Уникальные геологические объекты России: сохранение и рекреационный потенциал. Международная конференция. М.: ВСЕГЕИ, 2013. С. 55-59.
- [11] *Натальин Н.А., Алметьева Л.Ф.* Российская часть Балтийско-Ладожского глинта – планируемый геопарк «Ингерманландия» или сосредоточие мусорных полигонов? // Науки о Земле и Цивилизация: Коллективная монография. Т. XI / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. С. 128-134.

- [12] *Николаев В.А.* Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн: Учеб. пособие / В.А. Николаев. М.: Аспект Пресс, 2003. 176 с.
- [13] *Петров О.В., Гогин И.Я., Вдовец М.С.* Сохранение геологического наследия России // Уникальные геологические объекты России: сохранение и рекреационный потенциал. Междунар. конф. М.: ВСЕГЕИ, 2013. С. 72-74.
- [14] *Рубан Д.А.* Государственное управление геонаследием. Ростов-наДону: ООО «ДГТУ – Принт», 2022. 87 с.
- [15] *Соляник В.А., Попов В.К., Пахомова В.А., Тишкина В.Б.* Развитие геологической науки – в новых коллекциях музея ДВГИ ДВО РАН // Вестник ДВО РАН. 2019. № 1. С. 148-152. DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.017
- [16] *Шеремет Э.А.* Регулирование туризма и отдыха в геопарках азиатских стран // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: Труды XIV Международной научно-практической конференции. МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Москва, 25 апреля 2019 года. М.: АНО «Диалог культур», 2019. С. 531-536.
- [17] *Gordon J.E.* Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation // *Geosciences*, 2018, 8, 136, 25 p.; doi:10.3390/geosciences8040136
- [18] *Hose T.A.* Foreword // *The geotourism industry in the 21st century: the origin, principles, and futuristic approach / edited by Bahram Nekouie Sadry.* Apple Academic Press, 2020. pp. XXV-XVII.
- [19] List of UNESCO Global Geoparks (UGGp) // UNESCO. [Электронный ресурс]. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks> (дата обращения: 13.02.2023).
- [20] *Panizza M., Piacente S.* Cultural geomorphology and geodiversity // *Geomorphosites; Reynard, E., Paola Coratza, G.R.-B., Eds.; Verlag Dr. Friedrich Pfeil: München, Germany, 2009.* pp. 35-48.

S u m m a r y. The article formulates domestic and foreign information about the state of geotourism and resources for its further development. The importance of beautiful landscapes in local history, health improvement and geotourism is substantiated. Such places are significant geo-heritage monuments and in some cases deserve the status of national parks and geoparks. The possibilities of geotourism in expanding the subject field of geology, geography and geomorphology are considered. Like ecotourism, geotourism is an integral part of scientific tourism.

КАМЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАНЕТЫ – ПОДОБИЯ ДРЕВНИХ ИЗВАЯНИЙ КАК АТТРАКТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ТУРИЗМА

Ал.А. Григорьев

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, aleksey.megalit@yandex.ru

STONE FORMATIONS OF THE PLANET - THE LIKENESSES OF ANCIENT STATUES AS ATTRACTIVE OBJECTS OF TOURISM

Al.A. Grigoriev

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. Почти по всей планете распространены подобию доисторических каменных изваяний. Систематизация известных данных позволила осуществить их классификацию, а также картографирование наиболее значимых из них на отдельных территориях. Среди них встречаются антропоморфные, зооморфные и фантастические скульптуры. В их распространении отмечаются черты зональности, тяготение к возвышенным местам и берегам рек и морей, иногда связи с месторождениями полезных ископаемыми, разломами, а также с древнейшими топонимами. Независимо от происхождения (а их рукотворность подтверждается рядом признаков) они представляют перспективный аттрактивный объект туризма.

Ключевые слова: каменные изваяния, систематизация, встречаемость, генезис, аттрактивные объекты, туризм.

Введение

Почти во всех регионах планеты распространены подобию каменных изваяний различных живых существ, в том числе фантастических и ныне исчезнувших (ископаемых). Они встречаются как на территории современных развитых государств, так и на территории стран третьего мира, в том числе в самых отдаленных от современной цивилизации и неосвоенных районах планеты. Удивительная похожесть их на рукотворные скульптуры ориентирует на исследования в этом направлении, сторонники которого, несмотря на убедительные результаты, пока не многочисленны. Вместе с тем рассматриваемые подобию каменных изваяний во многом благодаря загадочности их генезиса представляют перспективный аттрактивный объект туризма, который по-разному постепенно развивается в разных странах планеты.

Объекты и методы

В основе исследований положены полевые наблюдения, а также результаты анализа сведений об изваяниях, собранных как специалистами, так и путешественниками. Авторские исследования осуществлялись на территории Греции, Египта, Болгарии, Казахстана и разных регионов России. Среди использованных методов главным была систематизация полученных данных. На ее основе была выполнена классификация объектов, а также их картографирование. Выявлено 3 вида и ряд разновидностей изваяний.

Обсуждение результатов

Почти повсеместно на планете обнаружены причудливые каменные изваяния различных живых существ доисторического возраста, отмечаемые в трудах как специалистов – географов и геологов, так и других исследователей и особенно путешественников. Несмотря на явную похожесть каменных изваяний на

рукотворные скульптуры во все времена и до сих пор господствует представление об «игре природы» при их создании (рис. 1). То есть однозначно специалистами приписывается основная и единственная роль в их образовании экзогенных геоморфологических факторов.



Рис. 1. Лягушки. Слева – натуральная. Справа – каменное изваяние на берегу Охотского моря. Шантарские острова. Ист. слева <https://i.artfile.me/wallpaper/29-12-2008/1280x960/zhiivotnye-lyagushki-453913.jpg>, справа Фото И.Б. Ольховского. http://trip-dv.ru/filedata/image_inline_full/1766.

Основной причиной подобного представления явилось бездумное следование ложной господствующей исторической концепции об эволюционном развитии исторического процесса, отрицание концепции цикличности развития цивилизаций, выдвигаемой несколькими выдающимися учеными среди них (историки А. Тойнби и О. Шпенглер, географ-этнолог Л. Гумилев). Признание историками (археологами) рукотворности причудливых древних каменных изваяний означало бы подрыв современной господствующей концепции о развитии общества и таким образом об освоении географического пространства в том числе в доисторическое время. В результате сказанного в оценке широко распространенных на планете древних каменных изваяний превалирует ложная догматическая историческая, а не естественно-географическая точка зрения.

И все же независимо от концепций генезиса подобия каменных изваяний они ввиду необыкновенной причудливости, и той же загадки происхождения и таким образом предназначения представляют большой интерес для путешественников. Достаточно вспомнить район побережья Бретани во Франции или даже на высокогорном плато Маркагуаси в Андах в Перу, активно посещаемые путешественниками во многом именно из-за расположения там упомянутых причудливых скульптур.

Сказанное ориентирует на выделение подобия доисторических каменных изваяний в отдельный объект туризма, требующий, разумеется, дальнейших исследований разными специалистами и прежде всего географами в отношении их происхождения. Исследования такого рода важны и перспективны также и потому, что многие из таких объектов находятся вне зоны распространения туристических маршрутов, причем в особенности в России.

Среди подобий древних каменных изваяний выделяется три вида: 1. зооморфные, 2. антропоморфные, 3. исчезнувшие и фантастические. Среди них преобладают зооморфные (рис. 2). Причем встречаются различные их виды, впрочем, количество которых ограничено. Все они хорошо известны. Явное преобладание имеют изваяния черепах. Примерами их распространения могут служить такие местоположения как Горхи-Тэрэдж в Монголии, Лес Фонтебло на Северо-Французской низменности во Франции, Национальный парк Бокор в Камбодже. Среди пресмыкающихся также встречаются, но гораздо реже скульптуры крокодила (о. Закинф в Греции) и змей (плато Эннеди, Чад).



Рис. 2. Хищные птицы. Слева возвышенность Ахаггар, Алжир. Справа возвышенность Адун-Челон. Забайкалье. Ист. Слева <http://static.panoramio.com/photos/large/101129133.jpg> справа <http://s2.fotokto.ru/photo/full/100/1006022.jpg> автор Ирина

Второе место по распространению занимают верблюды. Их скульптуры можно увидеть в Бурабайской возвышенности в Казахстане, в Долине Монументов в США, на плато Маркагуаси в Перу. Среди изваянных в камне млекопитающих сухопутного пространства более ограниченно встречаются также собаки (например, на возвышенности Ахаггар в Алжире). Водные млекопитающие представлены изваяниями разных существ, из которых чаще можно наблюдать тюленей (например, в Долине Деврет в Турции). Скульптуры птиц чаще всего представляют изображения орлов (например, в Эоловом городе в Синьцзяне в Китае).

Антропоморфные изваяния представлены каменными головами, лежащими и стоящими фигурами, обычно выполненными не в полный рост. Первую можно увидеть в Баянаульском Национальном парке в Казахстане, спящего гиганта в юго-западной Испании, а стоящего великана на Армянском нагорье в Армении. Среди антропоморфных скульптур иногда, хотя и редко, встречаются изображения женщин и детей. Не менее примечательны скульптуры с явными признаками национальной принадлежности, одна из них зафиксирована в Пермском каменном городе в России.

Третья группа изваяний представлена прежде всего ископаемыми исчезнувшими существами. Среди них мамонт (о. Хук в Исландии), драконы (Каменная могила, Украина) и динозавры (Бектау-ата, Казахстан). Кроме них распространены фантастические изваяния и, прежде всего, сфинкс. Его можно наблюдать на плато Гиза в Египте, в Парке Хингол в Пакистане.

Из трех видов изваяний исключительно для зооморфных, причем только для некоторых свойственны черты зонального географического распространения. В наибольшей степени это относится к скульптурам верблюдов. Их изваяния приурочены преимущественно к природным зонам полупустынь и степей, а также пустынь. Хотя имеются некоторые аномалии, впрочем, они наблюдались также и в исторический период. Примечательно определенное соответствие ареалов распространения исторических верблюдов (их караванных путей) и распространения доисторических каменных изваяний.

Отмечается явная приуроченность каменных скульптур морских существ, прежде всего тюленей, к прибрежно-морским территориям. Некоторые существа, как и наблюдается в современной природе, например, собаки, распространены воплощенные в каменные изваяния повсеместно. Заметна приуроченность ряда скульптур, в том числе их скоплений к речным долинам и морским побережьям, а также к возвышенным местоположениям.

Состав горных пород, слагающих изваяния, весьма разнообразен и определяется приуроченностью их к соответствующим выходам горных пород. Он сильно влияет на прочность скульптур, способность к сопротивлению к разным экзогенным процессам и таким образом долговечностью и выразительностью. Выработанные, например, в меловых породах Дивногорья на Дону в России, весьма податливых к разрушению, во-многом нацело разрушены почти не выражены в рельефе. Многие изваяния приурочены к разломам горных пород, а некоторые их скопления – расположены в местах выхода значимых полезных ископаемых.

Выявлено, что обычно изваяния тяготеют в своем распространении к местам расположения других видов мегалитов. Важнейшей особенностью некоторых изваяний является участие в системах древнего ориентирования как в пространстве, так и во времени. Наиболее подробно с этой целью автором и А.Н. Параниной была выяснена соответствующая роль гигантского сфинкса на г. Эгюй в Предаляпах во Франции (Общество, среда, развитие, 2016, п 4).

При рассмотрении изваяний как части геокультурного пространства прослеживается связь скульптур с древними топонимами. Например, на территории России распространены скопления изваяний в местах, поименованных топонимами с корнем див (дев). Это, в частности, Дивногорье на Дону, Дивногорье на Енисее, также – Девичьи горы – так назывались в прошлом Жигулевские горы на Волге, Долина Деврент в Турции. Корни топонимов (див-дев), отображаемые в каменных ликах, восходят к наименованию древнейших божеств – злых (в Персии), добрых (в Индии).

Составной частью геокультурного пространства являются также иногда сохранившиеся древние предания о создателях изваяний, как правило великанах.

В том числе предания о создании изваяний на плато Мань-Пупу-нер в республике Коми в России, на Зеравшанском хребте в местечке Шайтан-Жига в Узбекистане.

В разработках туристических маршрутов генезис изваяний – природный или рукотворный не имеет значение. Напротив, неясность его создает эти формы еще более аттрактивными, чем просто подобию неких существ. Большинство специалистов придерживается объяснения таких форм как результат игры природы, причем без всяких разъяснений и доказательств. Только отдельные специалисты пытались связать определенные скульптуры с определенными экзогенными рельефообразующими факторами (впрочем, только декларативно). Среди них географ-мерзлотовед Ю.А. Мурзин для плато Кисилых в Якутии (с мерзлотными факторами), геолог В.А. Обручев для Джунгарии (с эоловыми процессами), геоморфолог Г.С. Ганешин для изваяний юго-восточного побережья Дальнего Востока страны (с прибрежно-морской абразией).

Вместе с тем и в России, и за рубежом отдельные специалисты придерживаются мнения о рукотворном генезисе изваяний. Таковыми были, например, исследователи Дивногорья на Дону (еще в XIX в.) Л.Б. Вейнберг и Е.Л. Марков. В XX-XXI вв. таких же взглядов в отношении изваяний на р. Вуоксе на Карельском перешейке придерживался геолог М.Ф. Карчевский, в отношении отдельных изваяний ПредАлтая придерживается археолог Л.С. Марсадилов. Этот подход поддерживают географы О.А. Борсук и В.Д. Сухоруков [2, 3] и геоморфолог Л.Л. Розанов. Рукотворный генезис многих изваяний в Болгарии отстаивают болгары В. Марков и М. Константинов, в Египте и других странах американец Р. Шох и англичанин П. Деверо [4-7].

Примечательно, что изваяние сфинкса в Бучеджи в Карпатах в Румынии признается рукотворными многими специалистами из государственных учреждений. Даже огромная по размеру скульптура «Принцесса Мали» в округе Мали в Гвинее, в районе, весьма отдаленном от современной цивилизации, признана рукотворной большинством специалистов.

Исследуя различные каменные изваяния, автор также пришел к убеждению о рукотворности изваяний. Отметим некоторые признаки [1]: 1. приуроченность отдельных из них к возвышенностям, речным долинам и побережьям морей; 2. выраженные элементы географической зональности в распространении некоторых из изваяний; 3. маркирование ими трасс освоения геопространства, использованных впоследствии (в историческое время); 4. использование отдельных из них в качестве ориентиров в пространстве и во времени; 5. связь некоторых изваяний с древними топонимами (с санскритскими корнями); 6. отражение в легендах, сообщающих об их рукотворном генезисе; 7. явные черты искусственности изготовления в отдельных каменных скульптурах.

Каменные изваяния с каждым годом привлекают все большее внимание туристов всего мира. За рубежом многие из изваяний принадлежат к национальному и даже к мировому наследию (ЮНЕСКО). Во многих странах мира упомянутые в статье изваяния легко доступны путешественникам благодаря хорошо организованной туристической инфраструктуре. И, прежде всего, в некоторых

национальных парках США, на полуострове Бретань во Франции, в Египте, в Румынии и даже в высокогорных Андах в Перу. В России таких мест пока еще недостаточно. Это Красноярские столбы, плато Кисилых в Якутии, Крымские горы, отчасти ряд мест на Урале. Однако во многих других случаях туризм ограничен неразвитостью туристической инфраструктуры.

Выводы

Подобия доисторических каменных изваяний, независимо от их дискуссионного генезиса, представляют значимый туристический ресурс, в ряде стран мира привлекающий туристов и приносящий доход. В настоящее время в России он явно недооценен. В то же время исследования показывают, что и наша страна богата такими изваяниями [1], которые могут и должны быть включены в туристическое развитие регионов.

Литература

- [1] Григорьев Ал. А. Каменные изваяния планеты – игра природы? Географические аспекты. СПб.: Астерион, 2022. 376 с.
- [2] Борсук О. А. Природное и рукотворное Наследие: три книги Ал. А. Григорьева // География в школе. 2019. № 2. С. 61-62.
- [3] Сухоруков В. Д. Символы геопространства: о новой книге доктора географических наук, профессора СПбГУ Алексея Алексеевича Григорьева «Каменные изваяния» // География и экология в школе XXI века. 2016. № 3. С. 78-79.
- [4] Devereux P. Sacred geography. Deciphering hidden codes in the landscape. L.: Octopus Publ. Group. 2010. 160 p.
- [5] Konstantinov M. Discovery of a new type megalith in Sredna Gora Mountains, Bulgaria // Megalithic monuments and cult practices: Proceedings of the 2nd International Symposium Blagoevgrad, October 12-15, 2016 / ed. D. Spasova. University Publishing House «Neofit Rilski», 2016. P. 140-149.
- [6] Markov V. Monumental rock images in the megalithic sanctuaries on the Balkans [Электронный ресурс]. URL: <http://satrae.swu.bg/media/31983/vasil%20markov%20-%20paper.pdf> (дата обращения: 09.10.2022).
- [7] Schoch R. M., West J. A. Redating the Great Sphinx of Giza, Egypt // Geological Society of America. 1991. Vol. 23. № 5. P. A253

S u m m a r y. Almost all over the planet there are similarities of prehistoric stone sculptures. The systematization of the known data made it possible to classify them, as well as to map the most significant of them in individual territories. Among them there are anthropomorphic, zoomorphic and fantastic sculptures. In their distribution, there are features of zoning, attraction to elevated places and the shores of rivers and seas, sometimes connections with mineral deposits, faults, as well as with the oldest toponyms. Regardless of their origin (and their man-made nature is confirmed by a number of signs), they represent a promising attractive object of tourism.

ГЕОГРАФИЯ И АНАРХИЗМ

В.Б. Коробов

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, szoioran@mail.ru

GEOGRAPHY AND ANARCHISM

V.B. Korobov

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. Учение анархизма возникло как научная теория в XIX веке и получила широкое распространение как теория трансформации политической власти до её полного уничтожения. На развитие теории анархизма большое влияние оказали успехи естественных наук, давшие импульс в развитии новых социальных теорий. В XX веке уже анархизм оказал влияние на развитие естественных наук, послужив созданию учения, получившего название эпистемологического анархизма. Эта концепция позволяет устанавливать правила применительно к данному случаю, что открывает новые возможности как для генерации новых теорий, так и переосмысления известных фактов и гипотез. На примере из практики автора показано как эти принципы могут быть применены в географии при решении прикладных задач.

Ключевые слова: география, анархизм, эпистемология, научные методологии, балльные классификации.

Введение

Согласно Советскому энциклопедическому словарю [15], *география* (от гео... и ...графия) – это «система естественных – физико-географических и общественных – экономико- и социально-географических наук, изучающих географическую оболочку Земли, природные, производственно-территориальные и социально-территориальные комплексы и компоненты»; а *анархизм* – это (от *anarchia* – безвластие) «... общественно-политическое течение, которое выступает за немедленное уничтожение всякой политической власти...», т.е. отрицающее всякое управление, основанное на насилии и принуждении.

Какая здесь может быть связь у анархизма с наукой и географией в частности? В работах классиков анархизма – Вильяма Годвина, Пьера Жозефа Прудона, Иоанна Штирнера, Михаила Бакунина, Петра Кропоткина, Льва Толстого и других [1, 8, 19 и др.] такой связи не установлено.

Только князь Пётр Кропоткин в [8, с. 274], будучи крупным учёным – географом и геологом, отметил, что прогресс науки и техники «... содействовал развитию смелости и в области социальной революции». Другими словами, успехи естественных наук привели к пересмотру устоявшихся фундаментальных теорий, например, о происхождении видов, и тем самым раскрепостили мышление коллег, работающих в других областях науки. Этот факт отражен и во Всемирной энциклопедии, определяющее анархизм как «... общественно политическое учение, ставящее своей целью освобождение личности от давлении всяких авторитетов и любых форм экономической, политической и духовной власти» [2].

Шаг в обратном направлении – от раскованности мышления к науке был совершён Полом Фейерабендом, который в серии ярких работ [16-18] развил новую теорию научного мышления, смысл которой заключается в положении, что в науке не существует неких универсальных методологических правил. На основе этих идей он создал концепцию, получившую название эпистемологиче-

ского анархизма – сугубо в рамках эпистемологии – «методологической дисциплины, исследующую знание как таковое, его строение, структуру, функционирование и развитие» [12].

Такой подход к методологии был принят далеко не всеми, несмотря на то что он оказал на неё серьёзное влияние. Это вынуждены были признать большинство специалистов, занимавшихся философией и методологией науки, в том числе и такие выдающиеся учёные как Карл Поппер, Томас Кун и Имре Лакатос, несмотря на довольно жёсткую критику этой концепции с их стороны [9, 10, 13].

В чём заключается смысл приложения анархизма к науке? Он довольно простой: если мы не можем объяснить что-то в рамках существующих теорий и гипотез, то нужно выработать новые правила, которые позволят если и не решить проблему, то хотя бы продвинуться в её понимании. Так чаще всего поступают математики. Если они обнаруживают, что нечто новое – или не новое, противоречит неким правилам, то ничего страшного – придумаем новые правила! Так появляются новые теории и целые науки, те же неевклидовы геометрии. Квантовая теория в физике также не могла бы возникнуть, если бы не отказались от классических постулатов, заменив их понятиями кванта и относительности. Получается, что задолго до изобретения эпистемологического анархизма выдающиеся умы применяли его на практике, причём давно, ещё с античных времён стоиками [3].

Результаты и обсуждение

Теперь зададимся вопросом: а какое отношение эпистемологический анархизм имеет к географии? Самое непосредственное. Покажем это на примере решения одной прикладной задачи: выбор наиболее эффективного места расположения нефтяного отгрузочного терминала в составе нефтяной транспортной инфраструктуры в западном секторе Российской Арктики. Терминал был выбран не случайно, так как именно терминал – ключевой объект в составе всей инфраструктуры, поскольку к нему прокладываются трубопроводы и трассы танкеров, следовательно определяется как экономическая эффективность, так и экологическая безопасность всего проекта. Поскольку на место расположения влияет множество факторов, необходимо рассматривать несколько альтернатив, что также требуется и природоохранным законодательством. Вот авторское решение.

Традиционные подходы, например, линейное программирование, оказались в силу ряда причин трудно реализуемыми. Поэтому в качестве принципа для сравнения была выбрана модель балльных классификаций, которая, несмотря на некоторые присущие ей недостатки [6], достаточно проста – иерархия альтернатив устанавливается по сумме баллов показателей влияющих факторов, и, что немаловажно, легко интерпретируема. Но выяснилось, что для её применения необходимо выработать правила, позволяющие реализовать эту модель применительно к данному случаю.

Такие правила потребовалось как для установления принципа построения шкал балльных оценок показателей, так и размещения самих терминалов [5]. В основу выделения влияющих факторов был заложен принцип ограничений. Ограничивающие факторы были определены исходя из следующих положений:

- Прямо запрещающие намечаемую деятельность. Устанавливаются законодательным путем.
- Косвенно влияющие на реализацию намечаемой деятельности. Устанавливаются как законодательным путем, так и самими природными условиями.
- Способствующие возникновению аварийных ситуаций и распространению загрязняющих веществ в окружающей среде.
- Увеличивающие стоимость проектирования, строительства и эксплуатации объектов нефтетранспортной системы.

Тогда под ограничениями можно понимать весь комплекс природных, технико-экономических, социальных и правовых условий, которые в той или иной степени способны отрицательным образом повлиять на проектные решения и сроки проведения работ. При этом все правовые акты рассматривались в контексте обеспечения безопасности промышленных объектов и транспортных средств и минимизации потенциального ущерба окружающей среде.

- Поскольку уровень современных технологий позволяет строить и эксплуатировать нефтетранспортные системы в самых суровых природных условиях, теоретически возможно рассмотрение любых вариантов размещения промышленных объектов.
- Исходная точка начала нефтетранспортной системы должна находиться на крупном месторождении или в центральном пункте сбора группы месторождений.
- Трубопроводы должны пролегать таким образом, чтобы в максимальной степени обеспечить прием нефти от других, находящихся поблизости от трассы, месторождений. Из этого положения вытекает возможность удаленного расположения терминалов.
- Места расположения трубопроводов, промышленных объектов, переходов через водные преграды и морские берега должны выбираться таким образом, чтобы влияние природных и экологических условий на них было по возможности минимальным. Исключается прохождение трубопроводных трасс через населенные пункты с целью минимизации последствий возможных катастроф.
- Места расположения терминалов должны соответствовать требованиям Постановления Правительства РФ № 44 от 19 января 2000 г., п. 2 которого гласит: «Искусственные острова, сооружения и установки не могут создаваться на признанных морских путях, имеющих существенное значение для судоходства, а также в местах, имеющих особо важное значение для рыболовства и воспроизводства морских биологических ресурсов».
- Расположение терминалов должно учитывать возможности хранения нефти (на берегу или непосредственно на терминале), особенности погрузочных операций и удаленность от рынков сбыта.

При этом также пришлось внести некоторые уточнения в технологические приёмы построения шкал балльных оценок, чтобы они охватывали все типы данных [4]. При помощи этих приёмов плюс экспертных технологий были сгенери-

рованы 10 альтернатив в северной части Белого моря и юго-восточной части Баренцева моря и проведено их сравнение. Одна альтернатива была расположена на открытой акватории и 9 – в прибрежной зоне. Преимущество получила альтернатива на открытой воде за счёт возможности применения крупнотоннажных танкеров и отсутствия необходимости использования ледокольного флота, что оказалось очень важным, а из прибрежных вариантов наиболее перспективным оказался остров Варандей. Любопытно, что через несколько лет после проведения инженерных изысканий он именно там и был построен! Тем самым подтвердив правомерность предложенного подхода и к выработке правил, и к использованной методологии балльных оценок.

Данная методология – балльные классификации ограничивающих факторов, в дальнейшем была применена и для решения других типов задач, в частности, географо-экологического районирования территорий и акваторий [7, 11], т.е. оказалась достаточно технологичной.

Выводы

Подведём итог. Метод эпистемологического анархизма открывает новые перспективы перед географической наукой для решения стоящих перед ней задач. Вот несколько из них: формализация процессов в атмосфере и океане, моделирование логистических цепочек в Арктике, исследование новых геополитических реалий и многие другие.

Однако, это совсем не означает, что в качестве новых концепций, методологий и правил можно предлагать что угодно: они должны быть логически обоснованы [14]. В противном случае вместо продвижения вперёд, мы получим регресс в познании.

Литература

- [1] *Бакунин М.А.* Государство и анархия. М.: АСТ, 2022. 320 с.
- [2] *Всемирная энциклопедия: Философия.* М.: АСТ, Минск: Харвест, Современный литератор, 2001. 1312 с.
- [3] *История мировой философии.* М.: АСТ: Астрель: ХРАНИТЕЛЬ, 2008. 494 с.
- [4] *Коробов В.Б.* О методологии построения шкал для классификации природных объектов на основе балльных оценок / Проблемы региональной экологии, 2002. № 4. С. 99-108.
- [5] *Коробов В.Б.* Эколого-географическое обоснование экспертной оценки создания нефтяной транспортной инфраструктуры севера Тимано-Печорской провинции. // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. М.: ИГ РАН, 2004. 422 с.
- [6] *Коробов В.Б., Кочуров Б.И.* Балльные классификации в геоэкологии: преимущества и недостатки / Проблемы региональной экологии, 2007, № 1. С. 66-70.
- [7] *Коробов В.Б., Середкин К.А.* Применение экспертных сетей для экологического районирования Белого моря / Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2016, № 3. С. 81-87.
- [8] *Кропоткин П.* Анархия, её философия, её идеал. СПб.: Азбука, Азбука-Аттикус, 2017. 480 с.

- [9] Кун Т. После «Структуры научных революций». М.: АСТ, 2014. 443 с.
- [10] Лакатос И. Методология исследовательских программ. М.: ООО «Издательство АСТ»: ЗАО НПП «Ермак», 2003. 380 с.
- [11] Лохов А.С., Губайдуллин М.Г., Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Географо-экологическое районирование трассы нефтепровода по степени опасности воздействия на окружающую среду при аварийных разливах нефти в Арктике / Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 45-50. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-045-050.
- [12] Новейший философский словарь. Минск: Издательство В.М. Скакун, 1999. 896 с.
- [13] Поппер К. Логика научного исследования. М.: АСТ: Астрель, 2010. 565 с.
- [14] Рассел Б. Человеческое познание: Его сфера и границы. Киев: Ника-Центр, 2001. 560 с.
- [15] Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1987, 1600 с.
- [16] Фейерабенд П. Против метода. Очерк анархистской теории познания. М.: АСТ; Хранитель, 2007. 413 с.
- [17] Фейерабенд П. Наука в свободном обществе. М.: АСТ: АСТ Москва, 2010. 378 с.
- [18] Фейерабенд П. Прощай, разум. М.: АСТ: Астрель, 2010. 477 с.
- [19] Эльцбахер П. Анархизм. Суть анархизма. М.: АСТ: АСТ МОСКВА, 2009. 351 с.

S u m m a r y. The doctrine of anarchism emerged as a scientific theory in the XIX century and became widespread as a theory of the transformation of political power to its complete destruction. The development of the theory of anarchism was greatly influenced by the successes of the natural sciences, which gave impetus to the development of new social theories. In the twentieth century, anarchism already influenced the development of natural sciences, serving to create a doctrine called epistemological anarchism. This concept makes it possible to establish rules in relation to this case, which opens up new opportunities for both generating new theories and rethinking known facts and hypotheses. An example from the author's practice shows how these principles can be applied in geography when solving applied problems.

283-ЛЕТИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БОЛЬШОГО САЛБЫКСКОГО КУРГАНА В ХАКАСИИ

Л.С. Марсадолов¹, А.Н. Паранина², Р.В. Паранин²

¹Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, marsadolov@hermitage.ru

²РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, galina_paranina@mail.ru

283 YEARS OF STATE MONITORING THE GREAT SALBYK KURGAN IN KHAKASIA

L.S. Marsadolov¹, A.N. Paranina², R.V. Pararin²

¹The State Hermitage Museum, St. Petersburg

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. Большой Салбыкский курган – самая большая пирамида скифского времени на территории Южной Сибири. Раскопки кургана не подарили миру золота, но открыли много нового об уровне знаний древних кочевников Центральной Азии. В статье проанализированы этапы исследований древнего памятника, показано научное значение объекта и современные проблемы сохранения, которые требуют решения.

Ключевые слова: Большой Салбыкский курган, мониторинг, музей, реставрация, охрана.

Введение

Большой Салбыкский курган – один из самых крупных мегалитических памятников древних кочевых племён Южной Сибири VII в. до н.э., вначале эпизодически изучался в XVIII-XIX вв., а затем профессионально – с середины XX в. Этот курган расположен в 60 км к северо-западу от города Абакан в Хакасии. В 1-й половине I-го тыс. до н.э. в Салбыке воздвигли более 100 курганов тагарской культуры «скифского времени», из них 15 курганов относятся к числу больших объектов.

Многие местные жители Хакасии и приезжие исследователи с разными целями неоднократно посещали Салбыкскую долину с расположенными там большими курганами, восхищались размерами земляных насыпей и формой огромных каменных плит оград, иногда оставляли тамги и надписи на них.

Краткая история изучения памятника

Самый крупный курган Хакасии упоминается в научной литературе с середины XVIII в. Историк Г.Ф. Миллер (1705-1783; рис. 1: 3) впервые его описал и измерил в 1739 г., а затем включил этот курган в «Историю Сибири», которая была опубликована в 1750 г. (переиздание – Миллер, 1937 и др.). Местные жители сообщили ему, что произведённые незадолго до его приезда грабительские раскопки были неудачными – артель бугровщиков из 12 человек работала 1,5 месяца (6 недель) и «не нашли в нём никаких драгоценностей» [16].

Известный сибирский исследователь И.Т. Савенков изучал этот курган в 1899 году и оставил памятную надпись на самом большом юго-восточном камне ограды. В июне 1910 года Н.В. Фёдоров сфотографировал этот курган и наиболее крупные вертикальные стелы, измерил выступающие из насыпи камни (рис. 1: 1; 2: 1; 3: 1). В 1939 г., через 200 лет после Г.Ф. Миллера, археолог С.В. Киселёв (1905-1962) во время археологической разведки экспедиции ГИМ-ГАИМК осмотрел Салбыкскую долину.

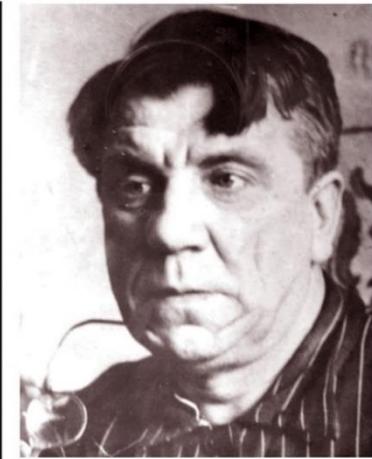


Рис. 1. Большой Салбыкский курган:

1 – общий вид кургана до раскопок (фотография Н.В. Фёдорова, 1910 г.); 2 – раскопанный С.В. Киселёвым Большой Салбыкский курган (фотография Л.С. Марсадолова, сделана с вертолѐта в 1994 г.); 3 – единственный прижизненный портрет Г.Ф. Миллера (середина XVIII в.); 4 – фотография С.В. Киселёва (конец 1950-х годов); 5 – фотография участников Саяно-Алтайской археологической экспедиции Государственного Эрмитажа: сидят – Ф.Б. Бакшт, А.М. Малолетко, В.Л. Горшков, Л.С. Марсадолов, А.Б. Григорьев, В.А. Калугин (1992 г.).

Многолетние исследования Большого Салбыкского кургана в 1954-1956 годах Хакасской археологической экспедицией Института истории материальной культуры Академии Наук СССР под руководством московского археолога С.В. Киселева (рис. 1: 4) были настоящим научным подвигом дружного коллектива археологов [4]. Большой вклад в изучение Салбыка внесла постоянная спутница в экспедициях и жена С.В. Киселёва – археолог Л.А. Евтюхова, сделавшая многие полевые чертежи и фотографии. В полевых экспедиционных работах участвовали молодые тогда московские археологи М.А. Дэвлет, С.В. Зотова, Н.Н. Терехова, Э.А. Новгородова, В.В. Волков, Л.Р. Кызласов, которые позднее стали известными археологами, а также местные жители. Археологические исследования в Салбыке отличались от предшествующих раскопок более высоким научно-методическим уровнем – изучением насыпи кургана на снос; зачисткой и зарисовкой всех плит ограды; детальной графической и фотофиксацией объектов. Немногочисленные предметы, найденные при раскопках Большого Салбыкского кургана, после временного изучения в ИИМК АН СССР были переданы на постоянное хранение в Абаканский музей в Хакасии и в ГИМ в Москве. В 1956 г. после завершения раскопок Большого Салбыкского кургана экспедиция С.В. Киселёва приняла меры к превращению этого объекта в памятник-музей. Плиты и стелы ограды были расчищены с внутренней стороны, а восточный «вход» в курган расчищен полностью. На юго-западной каменной стеле «входа» в августе 1956 г. была высечена надпись, поясняющая историческое значение Большого Салбыкского кургана, сообщающая дату его сооружения и данные об его исследовании и объявляющая его памятником, находящимся под охраной государства. К сожалению, С.В. Киселёв опубликовал лишь краткую информацию об этих раскопках [4] и даже не готовил к публикации материалы из Салбыка.

Детальным анализом погребального обряда, каменных конструкций Салбыка и тагарской культуры занимались М.А. Дэвлет (1976) и другие специалисты [2]. В 1950-90-е годы Л.Р. и И.Л. Кызласовы неоднократно исследовали разные объекты в Салбыкской долине, изучали предметы из Салбыка [5-8 и др.]. Раскопки объектов древней каменоломни в Хызыл-Хае произвёл Я.И. Сунчугашев, который также исследовал «ворота» в Салбыке, горные выработки и памятники орошаемого земледелия в Хакасии [18].

В 1977 г. археолог М.П. Грязнов решил сфотографировать для научного альбома хорошо сохранившиеся и наиболее красивые курганы тагарской культуры на Енисее и пригласил Л.С. Марсадолова, в те годы ещё студента-археолога, умеющего хорошо фотографировать, в большую научную поездку по памятникам Хакасии. Среди других объектов 9 июля 1977 г. были осмотрены и большие курганы в Салбыкской долине, которые настолько поразили молодого археолога, что он вернулся туда через много лет и провёл там ряд летних сезонов.

Саяно-Алтайская археологическая экспедиция Государственного Эрмитажа под руководством Л.С. Марсадолова проводила новые комплексные исследования в Салбыкской долине в 1992, 1994, 1996, 1998, 2008, 2010 и 2015 гг. [9-11] В процессе работ вновь был снят план ограды из каменных плит и выкладок,

расположенных за пределами ограды; детально измерены и геологически изучена каждая из 90 каменных плит кургана. Для определения возраста кургана были взяты образцы дерева на радиоуглеродный и дендрохронологический анализы, что впервые с опорой на археологические аналогии позволило датировать тагарский курган с точностью в пределах 20 лет – 670 г. до н.э. [12]. В ходе исследований были произведены археологические, астрономические, геологические, геофизические, топографические и метрологические работы; более детально были изучены плиты кургана и каменоломня; прослежены связи памятника с окружающим ландшафтом. На каменных плитах кургана заново были скопированы древние рисунки, знаки и тамги, которые дали новые обширные материалы не только для их датировки, но также для изучения семантики, связей и социальной организации тагарского общества.

Новое изучение Большого Салбыкского кургана показало, что этот объект может рассматриваться как отражение суммы достижений материальной и сакральной культуры тагарского общества середины I-го тыс. до н.э. Материалы этого грандиозного кургана позволяют с большой полнотой реконструировать уровень достижения тагарцев в социальной, экономической, культурной и сакральной сферах. В 2010 г. была опубликована обобщающая монография по этому кургану [11].

Сакральные и лечебные аспекты археологических памятников Салбыкской долины изучала В.Н. Тугужекова (2000) [19]. А.Г. Акулов и Е.Д. Паульс (2008) исследовали планиграфию и архитектуру объектов на Салбыкском курганном поле [1].

В ходе новых полевых исследований Салбыкской долины в 2010 г., принятых Л.С. Марсадоловым, Г.Н. Параниной, В.Г. Боргояковым, С.А. Угдыжековым, В.В. Таракановым, С.О. Таскараковым, с помощью GPS, теодолита и рулетки промерены расстояния между выносными плитами около самых больших курганов в Салбыке [15]. На Салбыкском комплексе разных культурных объектов было выявлено значительное совпадение астрономических направлений с ландшафтным окружением. Результатом исследований стал новый подход к определению понятия «сакральность»: священными являются природные, природно-антропогенные и антропогенные объекты, знания и опыт, обеспечивающие сохранение, передачу и использование жизненно-важной информации об окружающем Мире [13]. В таком контексте понятие сакральности приобретает новую важную грань – священность объектов в общественном сознании определяется их информационной ролью в обеспечении непрерывности Жизни.

Мегалитические объекты Сибири и других регионов мира близки по многим критериям – метрологическим, астрономическим, геодезическим и др. Основные отличия связаны с уникальностью геопозиции и региональными условиями. Например, различия объектов Сибири и Северо-Запада России заключаются в следующем: 1) в ландшафтных условиях их местонахождений; 2) на Северо-Западе преобладают крупные окатанные валуны из гранита, а в Салбыке – большие подпрямоугольные плиты из песчаника и гранита; 3) на С-З преобладают размеры в длину, а в Сибири – в высоту [14].



Рис. 2. Большой Салбыкский курган, Восточные «Врата», фотографии разных лет, отражающие «этапы жизни» камня №83:
 1 – 1910 г., до раскопок кургана (фотография Н.В. Фёдорова); 2 – 1954 г., во время раскопок экспедиции С.В. Киселёва; 3 – 1996 г., подножие камня вновь занесено землёй; 4 – 2008 г., частичная расчистка нижней части камня (3-4 – фотографии Л.С. Марсадолова).

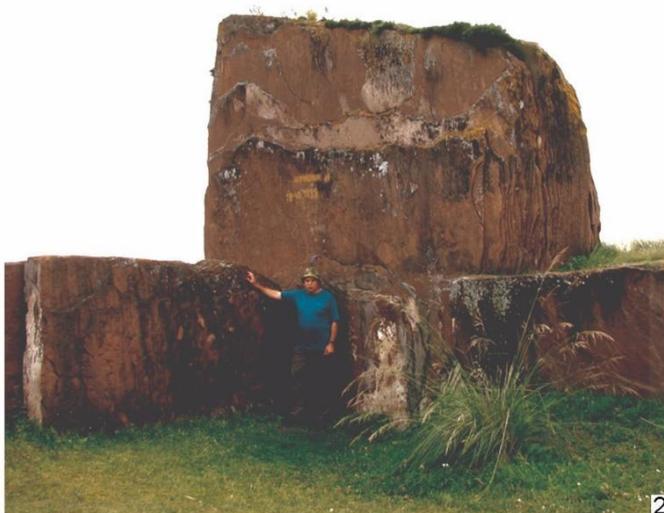


Рис. 3. Большой Салбыкский курган, фотографии разных лет:
1-2 – каменная плита №14: 1 – июнь 1910 г. (фотография Н.В. Фёдорова), 2 – июль 2008 г. (фотография Л.С. Марсадолова); 3-4 – Восточные «Врата», каменная плита №81: 3 – 1993 г., вид с юго-западной стороны (видна щель в вертикальной плите); 4 – 2008 г., вид с южной стороны на упавшую часть плиты и современные «обо» на её верхней поверхности (3-4 – фотографии Л.С. Марсадолова); 5 – 2011 г., ограда из металлической сетки вокруг кургана и вход в музейный комплекс (фотография Ю.Н. Есина).

На всех сакральных объектах мира *традиция наследования места* подчеркивает абсолютную значимость положения в географическом пространстве для межпоколенной передачи знаний («связи времен»). При этом, соседство астрономических инструментов разного возраста и технологического уровня позволяет проследить развитие навигационных технологий «на месте» [17] (рис. 4).

Салбыкское курганное поле демонстрирует и сохраняет следующие этапы развития технологий навигации – ориентирования в географическом пространстве: 1) сакральный ландшафт (инструменты – рельеф и естественные выходы коренных пород: микрорельеф фиксирует удобную точку наблюдений, линия горизонта – шкала пространства-времени, компас и календарь), 2) этап локальных сетей (в сакральный ландшафт человек добавляет искусственные инструменты – мегалиты, крупные блоки плотных пород, устойчивые к смещению и разрушению, они фиксируют точки горизонта, на которых наблюдаются календарные астрономические события), 3) этап региональных сетей (определение широты по тени солнечного гномона позволяет связать локальные сети между собой), 4) исторический этап абстрактного моделирования (развитие графических знаков и образов-символов, нанесение на поверхность плит тамгаобразных знаков, антропо- и зооморфных рисунков), 5) современный этап новых технологий навигации, коммуникации и моделирования (на вершинах некоторых курганов установлены пункты геодезической сети) [20]. Исследования всех этапов важны для палеореконокструкций развития культуры и природы, а также прогноза изменений природы Земли. При этом, геопозиция объектов играет главную роль [21].

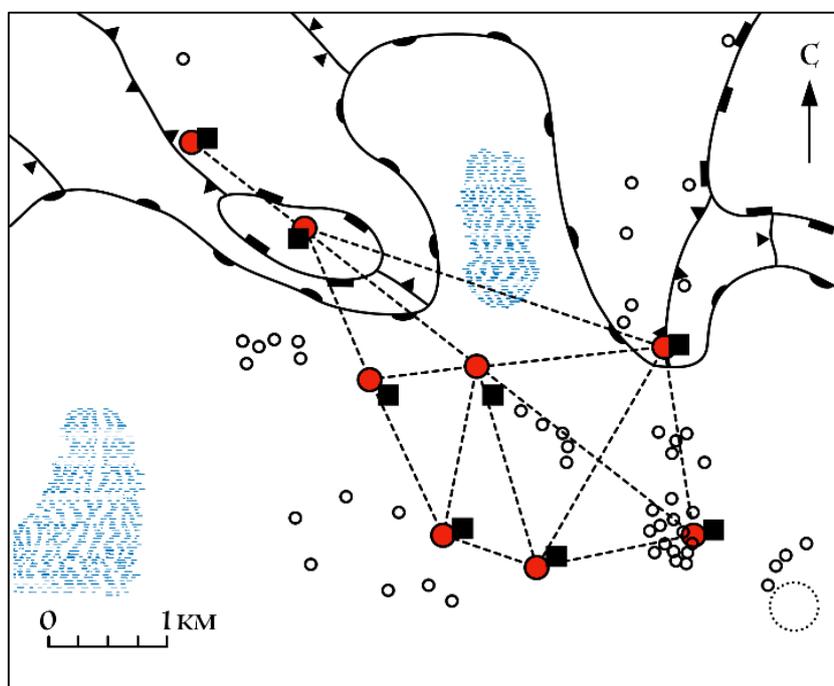


Рис. 4. Салбыкское курганное поле, элементы пространственной системы: красные точки – наиболее древние камни; квадраты – крупные курганы рядом; кружки без заливки – малые курганы по осевым направлениям. Структурные линии проведены по топокарте Салбыкской долины и плану курганного поля, составленного С.В. Киселевым, дополненного Л.С. Марсадоловым и А.Н. Параниной [15]. Схему составил Р.В. Паранин.



Рис. 4. Мониторинг 2022 г. с участием студентов и аспирантов РГПУ им. А.И. Герцена: 1 – вид сверху (фотография с квадрокоптера); 2 – пирамидки камней на отколовшейся плите – следы ритуальной деятельности, 3 – плита с информацией о памятнике разрушается; 4 – расслоение плит по трещинам; 5 – отклонение плиты от вертикального положения (фотографии Р.В. Паранина).

Сохранность археологического объекта

В 1956 г. вокруг фрагмента с рисунками на плите в южной части восточной стены ограды Большого Салбыкского кургана была сооружена металлическая ограда и на соседней плите высечена пояснительная надпись. Ныне эта оградка отсутствует, а каменная плита с древними рисунками значительно повреждена современными надписями и кострами.

«Врата» в восточной части долины сохранились без изменений, только рядом увеличилось число современных ритуальных объектов. В этом месте чувствуется глубокое уважение наших современников к древнему сакральному памятнику.

На знаменитом Большом Салбыкском кургане видны как положительные, так и негативные изменения. Сразу же обращает на себя внимание, что памятник постепенно на наших глазах разрушается и с каждым годом всё сильнее. На камнях кургана до создания там музея в 2007 г. появилось много надписей—«автографов», искажающих первоначальную красоту и простоту древних плит.

Как в древности, так и в современности, люди с разными целями приходили и приходят на Большой Салбыкский курган. Ознакомившись с этим сакральным памятником, большинство людей, как и прежде, восхищаются его грандиозными размерами, материализованной в камне мудростью замыслов древних жрецов и строителей. Конструкция кургана была рассчитана так, чтобы он сохранился на тысячелетия. Разве думали жрецы, вожди и строители этого сакрального сооружения, что через 2,5 тысячи лет придут некоторые потомки, стремящиеся зафиксировать свое мимолётное посещение кургана неуместными надписями типа «Здесь был ...», нанесёнными краской, процарапанные и даже глубоко выдолбленные на плитах. Эти надписи соседствуют с древними рисунками, иногда перекрывая их, тем самым, уничтожая сакральные изображения для последующих исследователей и посетителей.

Обычно считается, что мужчины стараются запечатлеть своё пребывание крупными надписями-автографами. Но, как это не странно, самую большую по размерам надпись масляной краской на плите в Салбыке оставили девушки или их поклонники – «Настя Ч. Таня д. Курганная 19 лет 20.05.2005 г.» [11, рис. 62: 1]. За последние годы эта надпись значительно поблекла, сама природа очищает этот объект.

Каменная конструкция Большого Салбыкского кургана в целом и каждый камень в отдельности продолжают «жить своей жизнью». Вероятно, со временем будут написаны «истории» и прослежены основные «этапы жизни» отдельных камней этого памятника, уже сейчас частично имеющих свои личные имена.

Самый высокий, выделяющийся по материалу, форме и внешнему виду камень «Плодородия» (№83), с древности привлекает наибольшее внимание. Вероятно, взятый на святилище эпохи бронзы III-II-го тыс. до н.э., он был встроен во входную часть Врат Большого Салбыкского кургана в VII веке до н.э. По фотографиям за последние 100 лет можно наглядно увидеть «жизнь» этого камня (рис. 2). Ещё до раскопок кургана, в начале XX века, около этого камня запечат-

лён хакас-охотник с ружьём на подставке за спиной. На начальном периоде раскопок кургана в 1954 г. рядом с этим камнем сфотографировались С.В. Киселёв и местная администрация. Не зная о вышеуказанной фотографии, во время новых исследований в 1992 г. около этого же камня сфотографировались участники экспедиции Эрмитажа (рис. 1: 5). Как и у египетского сфинкса, подножие этого камня то заносило землёй, то его вновь откапывали. Интересно отметить, что с годами растёт общее число людей, желающих сфотографироваться с этим камнем: от 1 в начале XX века, до 4 – в середине 1950-х годов и с 9 – в 1992 г. до 24 человек в 2008 г. Увеличивается с каждым годом и число ленточек-подношений на этом камне (рис. 2).

В 1950-е годы СЗ стела восточных «врат» кургана дала небольшую трещину (камень №81). В 1960-1990-е годы трещина из-за осадков и зимних заморозков всё более расширялась, а в 2003 г. (возможно, во время землетрясения на Алтае) большая плита раскололась на две части, и одна половина плиты упала (рис. 3: 3-4). И, может быть, даже неслучайно – эта плита как бы перегородила часть входа в курган. В ближайшие годы необходимо вернуть упавшую часть плиты на её первоначальное место.

Постепенно сознание людей всё же меняется в лучшую сторону, растёт интерес местного населения и приезжающих к этому объекту. Если в середине 1990-х годов этот курган посещало не более 1 тысячи человек в год, в начале 2000-х годов – до 10 тысяч, то после 2009 г. – зафиксировано уже более 30 тысяч посетителей.

В 2007 г. в Салбыке местной и республиканской администрацией Республики Хакасии был создан муниципальный музей под открытым небом «Древние курганы Салбыкской степи», а в 2011 г. каменная ограда ограждена металлической сеткой (рис. 3: 5), около входа установлен охранный пост, в двух юртах создан небольшой музей и киоск для продажи сувениров, оборудованы места для проведения обрядов и т.д.

Многие плиты каменной ограды нуждаются в срочной реставрации, в первую очередь стелы восточных врат, западной и южной стен. За последние десять лет видно, как верхние плоскости ряда плит заросли кустарником, травой, мхом, что способствует быстрому образованию больших трещин и постепенно разрушает камень. В эти щели осенью попадает вода, которая замерзает зимой и раздвигает по слоям горные породы, что приводит к раскалыванию и обрушению плит.

Для консультаций, высокопрофессиональной реставрации и консервации плит ограды кургана можно пригласить специалистов, имеющих опыт такой работы. В самое ближайшее время необходимо очистить, закрепить и заделать современные разрушительные щели на поверхности каменных плит, находящихся в аварийном состоянии, особенно в верхней части. Необходимо стереть современные надписи краской, замастиковать выбитые «автографы», укрепить поверхностный слой ряда плит и т.д.

Пока не разработаны методы и консервирующие составы, которыми можно будет пропитать и предохранить каменные плиты от разрушения, их

лучше всего пока не стараться выкапывать из земли, особенно плиты с внешней стороны каменной ограды, которые почти в первозданном виде надёжно сохраняют земляные отвалы. Большая опасность может заключаться в том, что если будут убраны все отвалы, то каменные плиты кургана начнут разрушаться ещё сильнее, а ведь именно они и конструкция объекта в целом являются в настоящее время одними из самых главных ценностей на этом памятнике. Не исключено, что многие плиты, оставшись без надёжной земляной опоры, начнут наклоняться в разные стороны и конструкция ограды окажется сильно искаженной. В недавно раскопанном кургане Барсучий Лог также многие внешние плиты ограды сейчас в основном держатся за счет опорной конструкции из камней с внутренней стороны ограды, а в Салбыке – за счёт отвалов с внешней части этого объекта.

Выводы

К настоящему времени в Хакасии изучено много археологических объектов разных культурно-исторических периодов, но по своим масштабам Большой Салбыкский курган продолжает сохранять своё лидерство. Научные факты об этом памятнике, полученные учёными разных специальностей, обладают огромной информативностью. Привлекая сумму современных научных методов, весьма эффективным представляется исследование астрономических, метрологических, социальных, ландшафтно-географических и других факторов организации сакральных мест, что позволяет реконструировать мировоззренческие основы, заложенные в древние объекты. Археологические, палеоастрономические и географические исследования в Салбыкской долине выявили высокий уровень научных, астрономических, архитектурных, строительных и сакральных знаний в Сибири в эпоху бронзы и в «скифское/тагарское» время.

В России есть не более десятка археологических объектов, для которых имеется такой длительный период наблюдений. Тем более важно своевременно провести реставрационные работы и сохранить уникальный памятник культурного наследия для будущих поколений туристов и исследователей.

Литература

- [1] Акулов А.Г., Паульс Е.Д. К изучению тагарской курганной архитектуры // Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. Том II. М., 2008. С. 5-8.
- [2] Дэвлет М.А. Большой Салбыкский курган – могила племенного вождя // Из истории Сибири. Выпуск 21. Томск, 1976. С. 146-154.
- [3] Киселев С.В. Древняя история Южной Сибири. М., 1951. 642 с.
- [4] Киселев С.В. Исследование Большого Салбыкского кургана в 1954 и 1955 гг. // Тезисы докладов на сессии Отделения исторических наук и пленуме ИИМК, посвященных итогам археологических исследований 1955 г. М., 1956. С. 56-58.
- [5] Кызласов И.Л. Пирамиды Салбыкской долины (путеводитель). Абакан, 1985. 8 с.
- [6] Кызласов Л.Р. Тагарская ручная мельница и её значение. Памяти учителя // Советская археология, № 3, 1985. С. 65-71.
- [7] Кызласов Л.Р. Древнейшая Хакасия. М., 1986. 295 с.

- [8] *Кызласов Л.* Пирамиды степных царей // Сокровища культуры Хакасии. Наследие народов Российской Федерации. Выпуск 10. М., 2008. С. 382-385.
- [9] *Марсадолов Л.С.* Исследования Саяно-Алтайской археологической экспедиции в 1992 году // Отчетная археологическая сессия Государственного Эрмитажа. Краткие тезисы докладов. Май 1993 г. СПб, 1993. С. 3-5.
- [10] *Марсадолов Л.С.* Курганы в Салбыке – Сибирская «Гиза» // Международная конференция по первобытному искусству. Тезисы докладов. 3-8 августа 1998 года. Кемерово, 1998. С. 172-173.
- [11] *Марсадолов Л.С.* Большой Салбыкский курган в Хакасии. Абакан, 2010. 128 с.
- [12] *Марсадолов Л.С.* Даты Большого Салбыкского кургана и этапа в Хакасии // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. Том II. Казань, 2014. С. 211-217.
- [13] *Марсадолов Л.С., Паранина Г.Н.* Салбыкский археологический комплекс как объект природного и культурного наследия // Известия Русского географического общества. Том 143. Выпуск 2. СПб., 2011а. С. 79-90.
- [14] *Марсадолов Л.С., Паранина Г.Н.* Первые комплексные исследования мегалитических объектов на Северо-Западе России: методика и методология // География: проблемы науки и образования. LXIV Герценовские чтения. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции LXIV Герценовские чтения, посвященной памяти А.М. Алпатьева, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 21-23 апреля 2011 года. СПб., 2011б. С. 45-52.
- [15] *Марсадолов Л.С., Паранина Г.Н., Угдыжеков С.А., Боргояков В.Г.* Информационный анализ сакрального пространства Салбыкской долины // Современные трансформационные экономические и социально-политические процессы. Тезисы докладов II международной научно-практической конференции (Абакан, 27-29 октября 2010 г.). Абакан, 2010. С. 132-138.
- [16] *Миллер Г.Ф.* История Сибири. Том I. М.-Л., 1937. 607 с.
- [17] *Паранина Г.Н.* Навигация в пространстве, времени и информации – основа жизнеобеспечения // Экология древних и традиционных обществ. Вып.4. Тюмень: Инст. проблем осв. Севера СО РАН. 2011. С. 115-119
- [18] *Сунчугашев Я.И.* Памятники орошаемого земледелия в древней Хакасии. Красноярск, 1989. 104 с.
- [19] *Тугужекова В.Н.* Салбыкский курган // Абакан литературный, № 3. Абакан, 2000. С. 71-72.
- [20] *Paranina A.* Archaeological objects as elements informational life support system and as sources of information about evolution of environment // Geomate, Osaka, Japan, 2017. Vol. 35. P. 100-107.
- [21] *Paranina A., Paranin R.* Information in geographical space as the basis of crossdisciplinary researches in culture geography // European Journal of Geography. 2017. Vol. 8. N 3. P. 67-77.

S u m m a r y. The Great Salbyk Kurgan is the largest pyramid of the Scythian time in the territory of Southern Siberia. The excavations of the mound did not give the world gold, but they discovered a lot about the level of knowledge of the ancient nomads of Central Asia. The article analyzes the stages of research of the ancient monument, shows the prospective scientific significance and modern conservation problems that need to be addressed.

О СОЛНЕЧНО-ЮПИТЕРИАНСКОЙ СИСТЕМЕ

А.Ю. Ретеюм

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, aretejum@yandex.ru

ON THE SOLAR-JOVIAN SYSTEM

A.Ju. Retejum

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Аннотация. Обобщение накопленных наукой фактов показывает, что центр нашей планетной системы образует пара Солнце и Юпитер, благодаря которой земной шар приобрел диссимметрию полушарий с наклоном оси вращения, существуя в космической среде с периодическими изменениями условий поступления энергии и вещества.

Ключевые слова: Солнце, Юпитер, Земля, Солнечно-Юпитерианская система.

Введение

Гелиоцентрическая картина мира сохраняется в науке практически без изменений с эпохи Коперника. Между тем оно не вполне соответствует общепринятым представлениям о физической системе, где целостность поддерживается взаимосвязями частей, а не односторонней зависимостью периферии от центра. Мнения И.Р. Вольфа, Р.К. Кэррингтона, Б. Стюарта и их последователей о способности Юпитера и других планет контролировать солнечную активность не встречают широкой поддержки. Важно осознавать то обстоятельство, что большое и постоянно растущее множество фактов до сих пор, по существу, остается вне объективного анализа. Это явления, которые требуют объяснения на основе принципа Кюри, раскрывающего зависимость диссимметрии тел от сил соответствующей величины и ориентации. Речь идет о феномене противоположностей Север - Юг и Восток - Запад, наблюдаемых на Земле, на Солнце и в ближнем космосе. Очевидные вопросы о причинах формирования грушевидной фигуры планеты с наклонной осью вращения, океанического Южного полушария, треугольных континентов, Тихоокеанской впадины и прочих сторон нашего небесного тела остаются в науках о Земле без ответа десятилетиями и даже веками. Аналогична ситуация в астрономии.

Преодолеть существующие противоречия позволяет развитие концепции Солнечно-Юпитерианской системы как единства, созданного взаимодействием энергии и массы, сосредоточенной в звезде, с энергией и массой движущегося по эллиптической орбите звездоподобного газового гиганта Юпитера, которое протекает во многом благодаря контакту внешних оболочек (гало) небесных тел из трансводородного элемента ньютония. Краткое изложение полученного эмпирического обобщения представлено ниже.

Юпитер и солнечная активность

Юпитер обладает большой массой (в 2,5 раза превышающей массу остальных планет), кратчайшим периодом осевого вращения (9 ч 55 м) и огромной скоростью орбитального движения (более 13 км/с), что обеспечивает его высокую кинетическую энергию, которая частично может передаваться Солнцу через вихрь невидимой внешней оболочки в моменты перемещения недалеко от точки перигелия. И звезда, и планета вращаются в прямом направлении, следовательно,

исходя из правила механики твердых тел, нужно предполагать, что тогда возникает эффект торможения, влекущий за собой ослабление солнечной активности. И действительно на это указывают факты, относящиеся к периодам разных положений планеты (рис. 1), которые невозможно объяснить ролью гравитации.

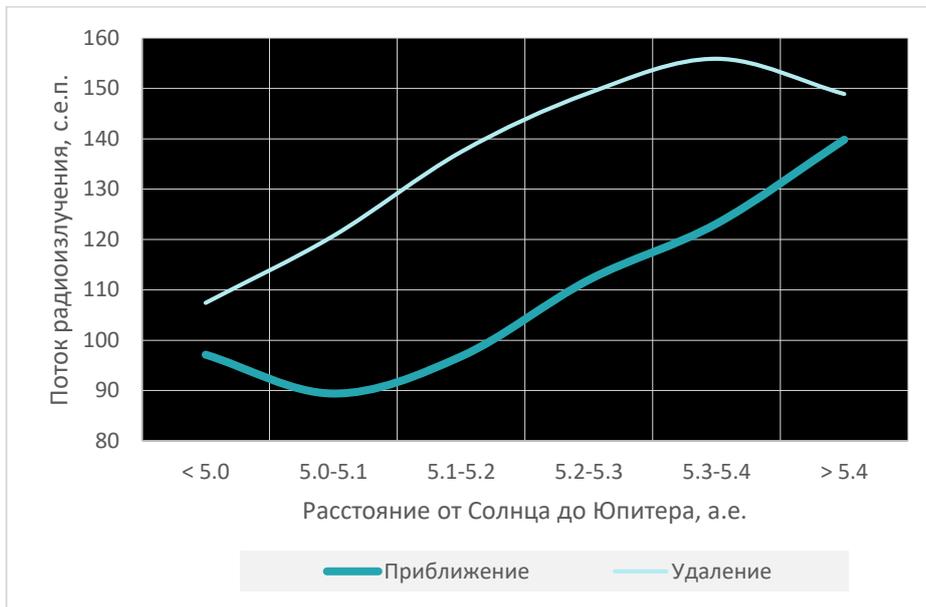


Рис. 1. Движение Юпитера и радиоизлучение Солнца на частоте 2800 МГц. Осреднение суточных величин потока за период 1947-2022 гг. Источник: расчет по данным [3].

Плоскость орбиты Юпитера наклонена под углом $6,09^\circ$ к экватору Солнца, причем точка перигелия расположена на крайнем юге. Поэтому логично ожидать априори, что соотношение площадей солнечных пятен на Северном и Южном полушариях увеличивается по мере приближения планеты к звезде. Так оно и происходит в реальности (рис. 2)

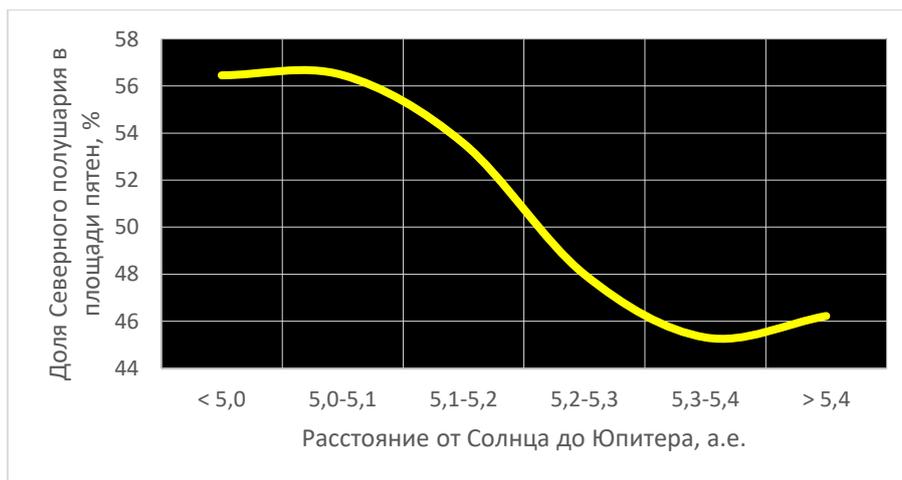


Рис. 2. Реакция полушарий Солнца на движение Юпитера. Осреднение месячных величин площади солнечных пятен за период 1875-2015 гг. Источник: расчет по данным [15].

Влияние Юпитера на солнечную активность непосредственно отражается на галактических космических лучах и геомагнитном поле.

Последствия изменений солнечной активности

Приближение Юпитера к Земле влечет за собой значительный рост напряженности магнитного поля (рис. 3).

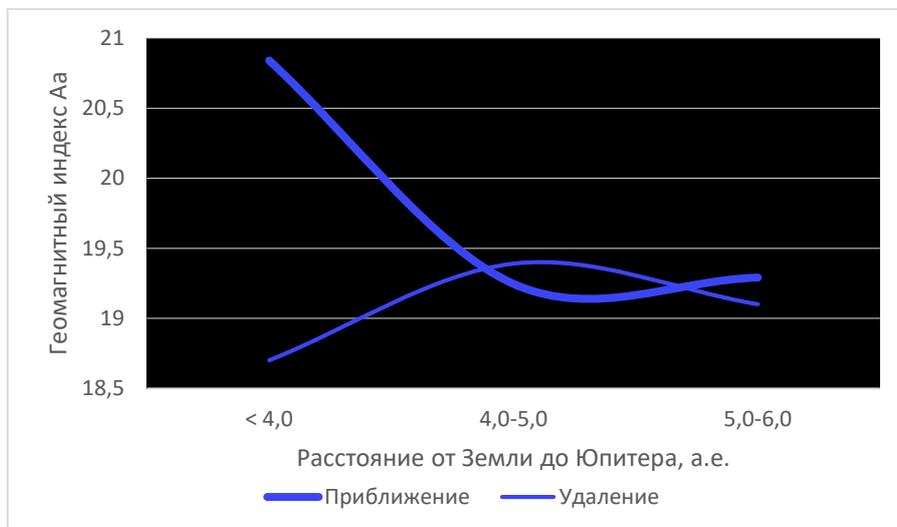


Рис. 3. Возмущение Юпитером магнитного поля Земли. Осреднение суточных величин индекса Aa за период 1869-2022 гг. Источник: расчет по данным [9].

Результатом воздействия Юпитера на скорость и плотность солнечного ветра служит модулирование галактических космических лучей, когда соседство планет отмечено их повышенной интенсивностью, особенно в период сближения (рис. 4).

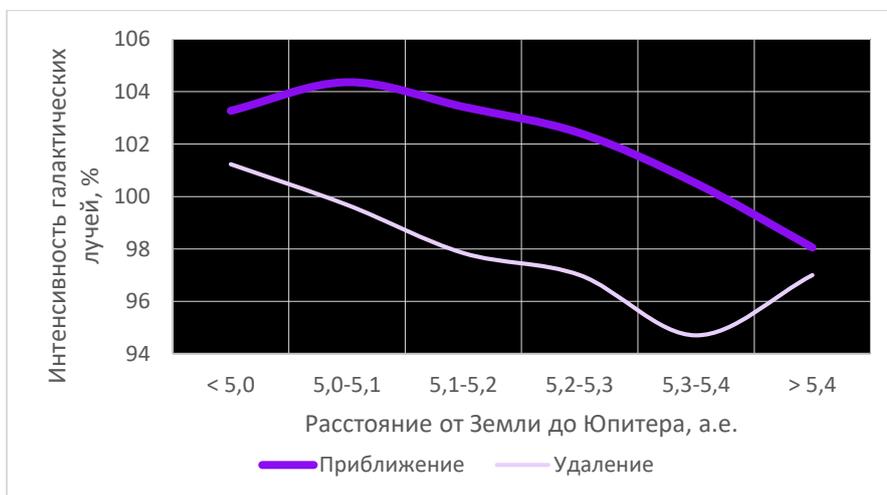


Рис. 4. Модулирование Юпитером галактических космических лучей. Осреднение суточных величин интенсивности за период 1958-2022 гг. Источник: расчет по данным наблюдений Московского нейтронного монитора [12].

Модулирование галактических космических лучей очевидно представляет собой главный канал, по которому сигнал вариаций солнечной активности передается на Землю, так как абсолютные значения амплитуды колебаний суточных величин полного солнечного излучения под влиянием Юпитера измеряются сотыми долями процента. Частицы космических лучей выступают в качестве ядер

конденсации в атмосфере и в некоторых случаях стимулируют внутримассовое осадкообразование. Этот эффект не приобретает значительных масштабов в южных широтах из-за поглощения космических лучей мощной атмосферой.

Важнейшее последствие модулирования космических лучей состоит в усилении ионизации клеток организмов при спокойном Солнце, приводящее, в частности, к падению рождаемости (рис. 5) и подъему младенческой смертности девочек (рис. 6) из-за уязвимости женских X-хромосом [14].

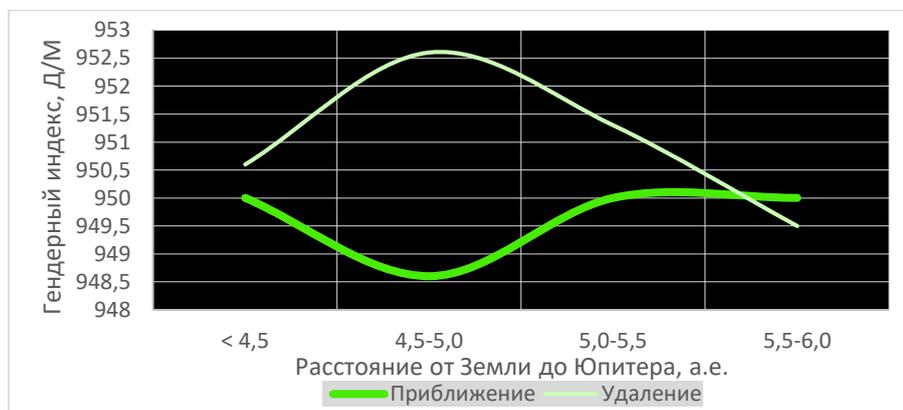


Рис. 5. Изменения в соотношении численности родившихся девочек и мальчиков в Швеции при движении Юпитера. Осреднение за период 1749-2022 гг. Источник: расчет по данным [18].

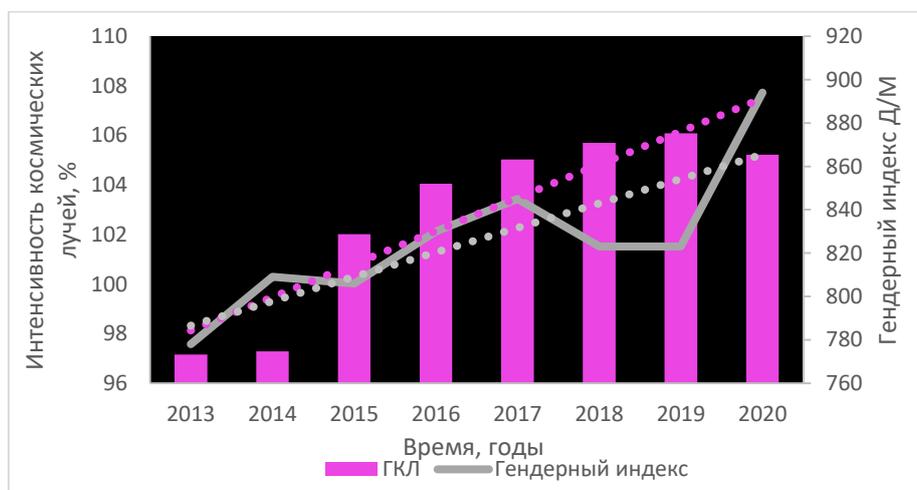


Рис. 6. Рост ранней младенческой смертности девочек (в первый день жизни) при увеличении интенсивности галактических космических лучей. Осреднение по 27 странам Европы. Показаны линейные тренды. Источник: расчет по данным [1] и [12].

Ускоренное вращение Земли и его результаты

Близкое положение Юпитера естественно сокращает продолжительность земных суток (рис. 7).

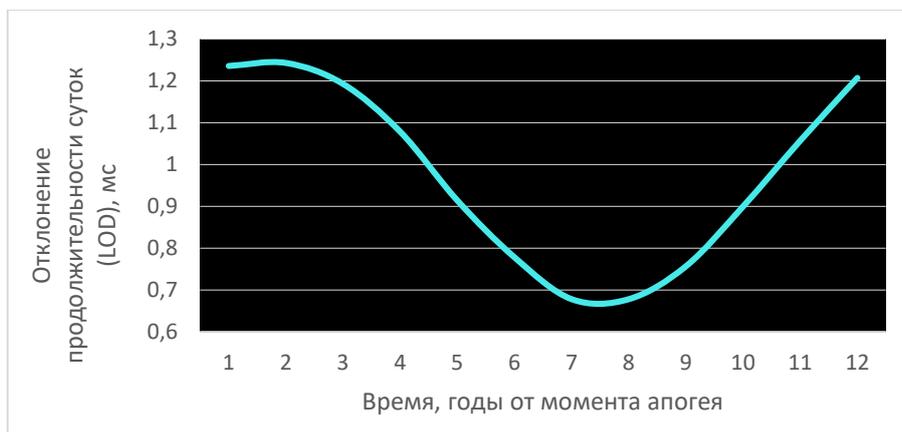


Рис. 7. Влияние Юпитера на скорость вращения Земли. Осреднение методом наложенных эпох за период 1850-2015 гг. Источник: расчет по данным [5].

Ускорение вращения в отношении пространства земного шара дифференцировано: Южное полушарие опережает в движении Северное, что хорошо заметно по часовой разнице во времени наступлении максимумов и минимумов суточного хода частоты землетрясений $M \geq 3$ с двух сторон от экватора. Это ведет к поразительному явлению скручивания масс тела планеты вдоль оси, отраженному в ориентации континентов.

С эффектом ускоренного вращения планеты связана активизация тепло-массопереноса в атмосфере, в первую очередь у экватора (рис. 8).

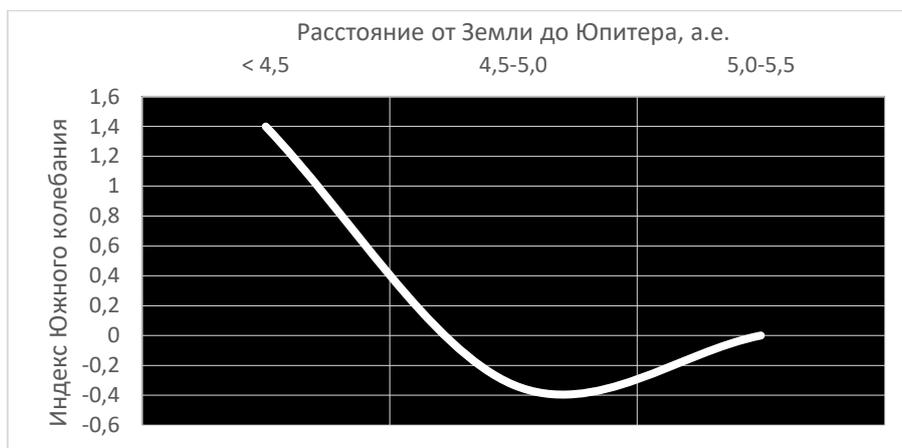


Рис. 8. Положительное отклонение в режиме Южного колебания при близком к Земле движении Юпитера. Осреднение месячных величин индекса SOI за период 1876-2022 гг. Источник: расчет по данным [17].

Относительно коротким суткам отвечает тенденция усиления морских течений в низких широтах, сопровождающегося преимущественно понижением температуры воды. Однако иногда парадоксальным образом к годам движения Юпитера около точки перигея бывает приурочено рождение Эль-Ниньо. Дело в том, что именно в то время может возникать более резкое, чем обычно (см. рис. 7) замедление скорости вращения планеты, которое служит толчком для смены холодных водных масс теплыми на востоке акватории Тихого океана вдоль экватора (рис. 9).

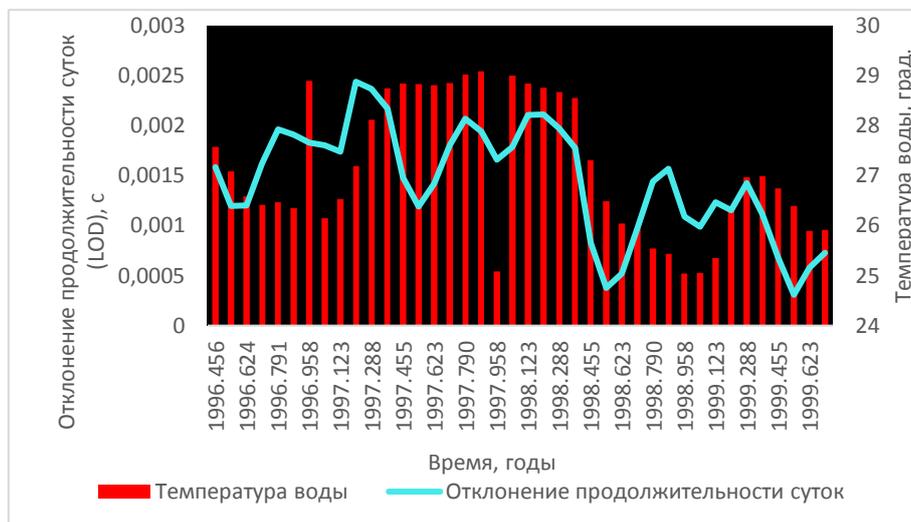


Рис. 9. Удлинение суток перед прохождением перигея Юпитером в 1999 г., вызвавшее Эль-Ниньо с рекордным повышением температуры воды в районе Nino 3.4 (5°N - 5°S, 170°W - 120°W). Источник: расчет по данным [6] и [13].

От возмущенной атмосферы импульс поступает в биоту, о реакции которой можно судить, например, по снижению прироста древесины в лесах (рис. 10) и плохим урожаям на полях (рис. 11) Азии в середине цикла Юпитера.

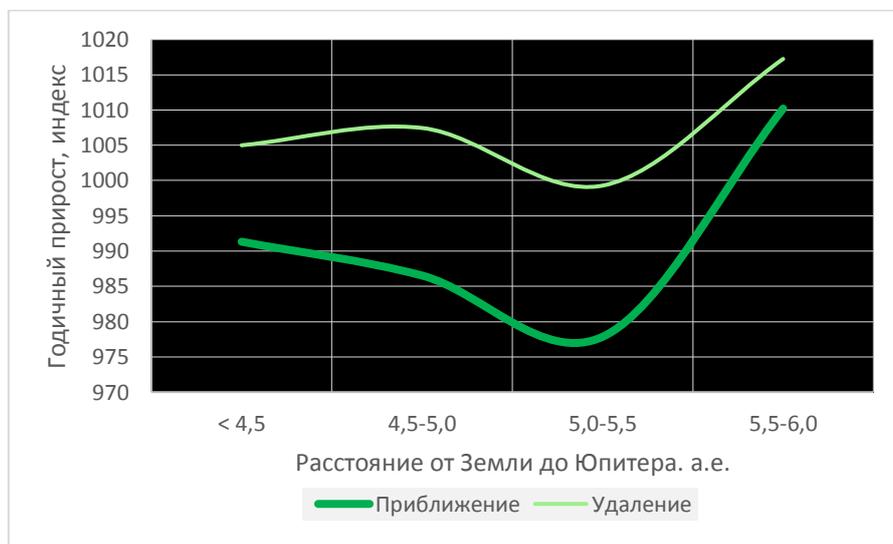


Рис. 10. Отклики соснового леса Монголии на движение Юпитера. Осреднение за период 900-1998 гг. Источник: расчет по данным [10].

История Индии говорит о том, что крупнейшие климатические аномалии - катастрофические засухи, вызвавшие гибель миллионов людей от голода, приходились, как правило, на период сближения Юпитера с Землей (рис. 12).

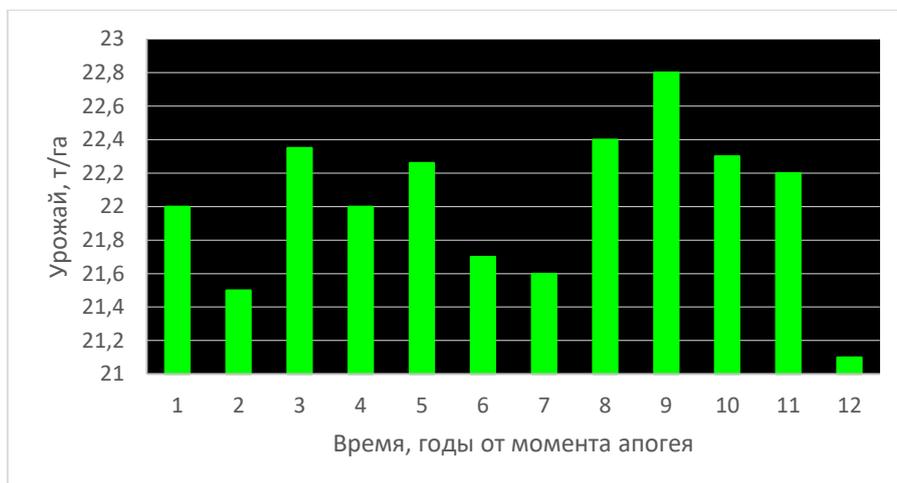


Рис. 11. Урожаи пшеницы в Индии по годам цикла Юпитера. Осреднение за период 1969-2015 гг. с поправкой на линейный тренд. Источник: расчет по данным [2].

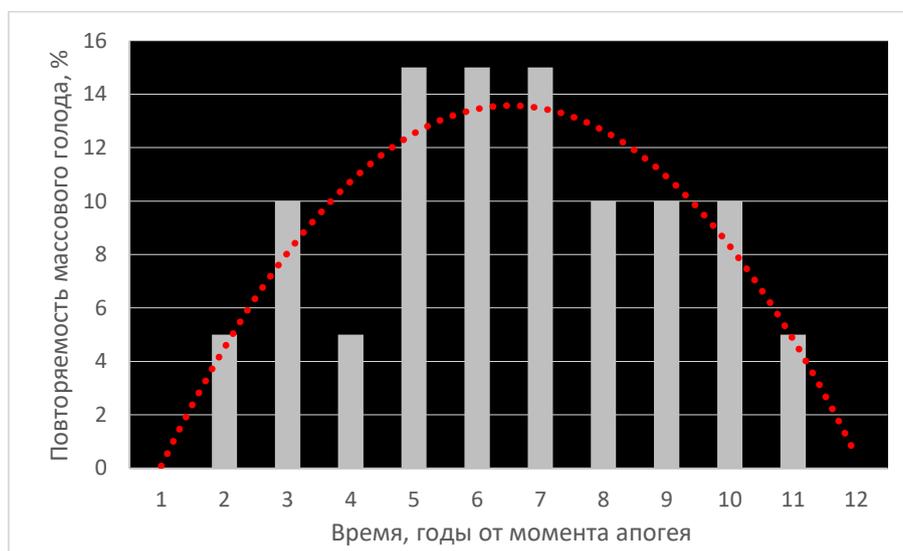


Рис. 12. Повторяемость случаев массового голода при засухе в Индии. Осреднение по девяти катастрофическим событиям общей продолжительностью 20 лет в период 1344-1900 гг. Показан полиномиальный тренд. Источник: расчет по данным [11].

Совместный вклад ускорения и гравитации

Наряду с ускорением вращения Земли в период сближения с Юпитером значительное участие в динамике геосфер принимает другой внешний фактор - гравитация газового гиганта. Об этом свидетельствуют, прежде всего, материалы наблюдений на стационарном сверхпроводящем гравиметре в Страсбурге [7], трижды фиксировавшего уменьшение силы тяжести на величину 20-30 нм/с² после прохождения Юпитером точки перигея.

Далее, обращает на себя внимание характерный спад суточных изменений уровня моря при подлете Юпитера в Южном полушарии, особенно в Антарктике (рис. 13).

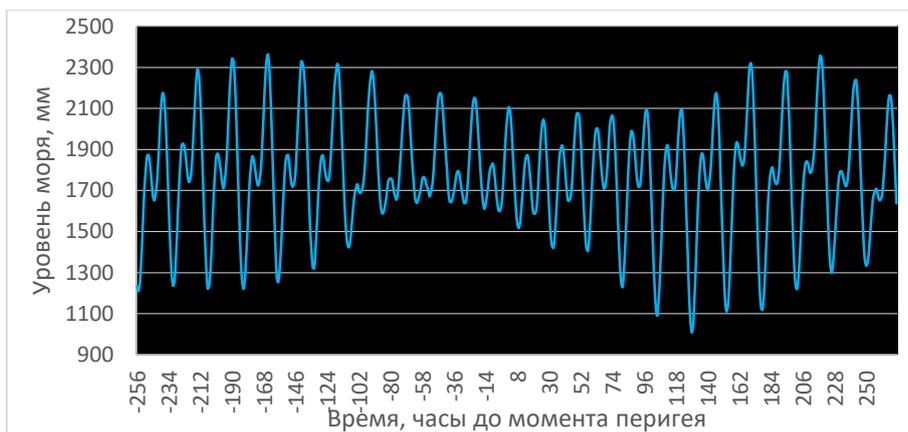


Рис. 13. Сокращение амплитуды колебаний уровня моря Беллинсгаузена при близком положении Юпитера. Осреднение часовых величин за период 1963-2022 гг. Источник: расчет по данным наблюдений на станции Фарадей-Вернадский [16].

Влияние Юпитера обнаруживается, кроме того, в увеличении частоты извержений южных вулканов в годы середины цикла (рис. 14).

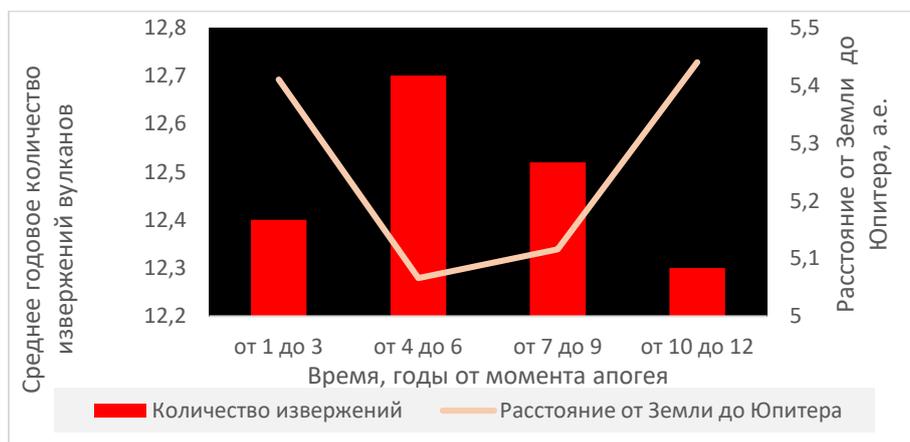


Рис. 14. Частота извержений вулканов Южного полушария в годы цикла Юпитера. Осреднение по 1349 событиям с эксплозивным индексом (VEI) ≥ 1 за период 1909-2022 гг. Источник: расчет по данным [4].

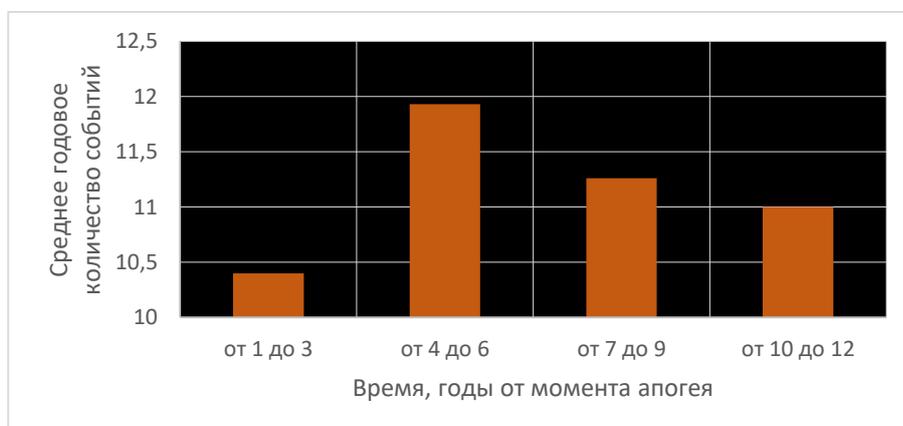


Рис. 15. Частота мощных землетрясений в Южном полушарии в годы цикла Юпитера. Осреднение по 1203 событиям $M \geq 7$ за период 1909-2015 гг. Источник: расчет по данным [8]

Аналогичная закономерность четко выражена в сейсмичности Южного полушария (рис. 15).

Заключение

Крутящий момент Юпитера и сила его тяготения со временем привели к деформации тела Земли, наклону оси вращения, разрастанию Южного полушария и смещению к востоку его масс. Функционирование и развитие Солнечно-Юпитерианской системы происходит с участием Сатурна, что обеспечивает цикличность процессов с периодами, кратными 30 и 20 годам.

Литература

- [1] Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [2] FAOSTAT. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- [3] Flux of Radio Emission from the Sun with a Wavelength of 10.7 cm (2800 MHz). URL: <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>
- [4] Global Volcanism Program. URL: <https://volcano.si.edu/>
- [5] HM Nautical Almanac Office. URL: <http://astro.ukho.gov.uk/nao/lvm/>
- [6] International Earth Rotation and Reference Systems Service. URL: https://datacenter.iers.org/data/latestVersion/EOP_20_C04_one_file_1962-now.txt
- [7] International Geodynamics and Earth Tide Service. Strasbourg (EOST). URL: <http://igets.u-strasbg.fr/st023.php>
- [8] International Seismological Centre. URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>
- [9] International Service of Geomagnetic Indices. URL: https://isgi.unistra.fr/indices_aa.php
- [10] *Jacoby G.C., D'Arrigo R., Buckley B.M., Pederson N.* Paleo Data Search. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/?dataTypeId=18>
- [11] Mishra V., Aadhar S. Famines and likelihood of consecutive megadroughts in India // NPJ Climate and Atmospheric Science, 2021, 4:59
- [12] Moscow Neutron Monitor. URL: <http://cr0.izmiran.ru/mosc/>
- [13] Nino SST Indices. URL: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>
- [14] *Retejum A.Ju.* Ionization of X-Chromosomes by Galactic Cosmic Ray and the Male Bias at Birth. Biomed J Sci & Tech Res 41(3)-2022. BJSTR
- [15] Royal Observatory, Greenwich - USAF/NOAA Sunspot Data. URL: https://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch/daily_area.txt
- [16] Sea Level Center. URL: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/?fd>
- [17] Southern Oscillation Index. URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/>
- [18] Statistics Sweden. URL: <https://www.government.se/government-agencies/statistics-sweden--statistiska-centralbyran/>

S u m m a r y. The generalization of the facts accumulated by science shows that the center of our planetary system is formed by the Sun -Jupiter pair, thanks to which the globe acquired the dissimetry of hemispheres with the tilt of the axis of rotation, existing in the space environment with periodic changes in the conditions of energy and matter intake.

КОНЦЕПЦИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

Л.Л. Розанов

Московский государственный областной университет, rozanovleonid@mail.ru

THE CONCEPT OF THE GEOECOLOGICAL PICTURE OF THE WORLD

L.L. Rozanov

Moscow State Regional University, Moscow

Аннотация. Вводимое автором понятие «геоэкологическая картина мира» означает солнечно-земное окружение, влияющее на жизнедеятельность человека (человечества). Концептуально геоэкологическая картина мира рассматривается как основа геоэкологических знаний об общем выражении окружающей человека (населения) природно-техногенной действительности. Геоэкологическая картина мира – актуальная предметная и социальная действительность представляет собой взаимодействующую совокупность разнородных, разнокачественных объектов, явлений, процессов, влияющих на жизнь и здоровье людей.

Ключевые слова: геоэкологическая картина мира, окружающая среда, геоэкологические процессы, геоэкологические ресурсы, геоэкологические ценности, процессная геоэкология.

Введение

Современная наука сфера человеческой деятельности по формированию научной картины мира, представляющей собой высший уровень систематизации всей совокупности знаний о природе, обществе, их взаимодействии и развитии. Отражением общенаучной картины мира является естественнонаучная картина мира. Особенность современной естественнонаучной картины мира заключается в ее историчности, в принципиальной незавершенности. К формированию естественнонаучной картины мира общенаучное методологическое значение приобретает концепция геоэкологической картины мира.

Объекты и методы

Геоэкологическая картина мира (как пространственная динамичная цельность) ассоциируется не только с наукой и образованием, но и с мировоззрением, миропониманием, мировосприятием действительности и жизни людей. Концептуально геоэкологическая картина мира представляет собой солнечно-земную действительность, окружающую и влияющую на жизнь и здоровье человека (населения). Окружающая среда, отражая геоэкологическую картину мира, обладает потенциалом удовлетворения физиологических потребностей людей в жизненных, незагрязненных питьевой воде, воздухе, продуктах питания. Понятие «геоэкологическая картина мира» выражает всеобъемлющий образ пространственной динамичной реальности, в который сведены взаимно согласованные научные знания в некое системное целое. Научно-практическое познание геоэкологической картины мира основывается на понятиях «геоэкологическая процессность», «геоэкологические ресурсы», «геоэкологические ценности», обуславливающих жизнь, здоровье и деятельность людей в пространственно-временной конкретности [3, 4]. Идея геоэкологической картины мира является ключом к строгому процессному объяснению реальности. Геоэкологическая картина мира, как отражение динамичной солнечно-земной действительности, окружающей человека (населения), выполняет синтезирующую функцию, объединяет

геоэкологические знания в единую логическую систему процессной геоэкологии. Научная идея геоэкологической процессности играет роль метода в объяснении, осмыслении геоэкологических явлений.

Методологически процессная геоэкология основывается на учении о геоэкологических процессах – совокупности знаний о проявлении (выраженности) воздействия окружающей среды в сдвигах, отклонениях в здоровье человека, переменных в растительных и животных организмах. Уникальность проблем окружающей среды, озабоченность ее состоянием для человека, международная и национальная значимость подчеркивают правомерность рассмотрения в качестве *объекта исследования процессной геоэкологии* структуру, свойства, функционирование, динамику, эволюцию реальной окружающей человека среды в целом и ее материальных составляющих (геокомпонентов), обусловленных воздействием природных и техногенных факторов во времени и пространстве. Вычленение предмета процессной геоэкологии из ее объекта определяется постановкой актуальной задачи – распознаванием воздействия окружающей среды на жизнь, здоровье и деятельность человека (населения). Предмет исследования – все то, что находится в границах объекта исследования в определенном аспекте анализа. В качестве *предмета исследования процессной геоэкологии* рассматриваются геоэкологические процессы – проявление (выраженность) изменений, неприятных сдвигов, отклонений в здоровье человека, перемен в растительных и животных организмах в пространственно-временной конкретности окружающей среды. Метод исследования – процессно-функциональный подход к выделению, выявлению, описанию, объяснению отклонений, сдвигов в здоровье человека как проявление геоэкологических процессов (геоэкопроцессности), возникающих в окружающей среде под воздействием природных и техногенных факторов. Цель исследования – познание, постижение отклонений, сдвигов в здоровье человека (населения) как геоэкологических процессов (геоэкопроцессности) в пространственно-временной конкретности для решения задачи оздоровления окружающей среды в местности нахождения, проживания людей.

Существенным в познании геоэкологических процессов является соблюдение принципа соразмерности масштабов внутренних и внешних взаимосвязей в геоэкологическом пространстве человека. Геоэкологическая процессность лежит в основе методологии *процессной геоэкологии* – интегральной науки, изучающей изменения, неприятные сдвиги в здоровье человека, переменные в растительных и животных организмах под воздействием окружающей среды в пространственно-временной конкретности. Процессная геоэкология дает всеобъемлющий взгляд на происходящие в окружающей среде геоэкологические процессы, влияющие на жизнь и здоровье людей. Знания о геоэкологических процессах, осознание их в первую очередь как факторов, способствующих сохранению здоровья населения страны, рассматривается в качестве стержня государственной геоэкологической идеи. Здоровье населения – это показатель благополучия нации. Наряду с социальными условиями уровня жизни, степень здоровья населения определяет состояние геоэкологических ресурсов окружающей среды.

Обсуждение результатов

С позиции геоэкологической картины мира (солнечно-земного окружения человека) существенны выводы отечественного ученого А.Л. Чижевского (1897-1964). На основе обработки результатов наблюдений А.Л. Чижевский одним из первых установил солнечно-земное влияние на здоровье человека. «Он довольно убедительно связал циклы солнечной активности с большими эпидемиями в различных местах Земли, со смертностью от различных болезней, со статистикой инсультов, с частотой эпилептических припадков, с числом самоубийств» [1, с. 225]. Сопоставив холерные эпидемии с солнечной активностью в период 1750-1900 гг. А.Л. Чижевский установил, что жестокие холерные эпидемии увеличиваются с ростом интенсивности образования пятен на Солнце, а эпохи их затишья совпадают с падением солнечной активности. Биосфера и человек непрерывно подвергаются воздействию солнечной активности. Действительное солнечно-земное воздействие на здоровье человека отражает понятие «геоэкологическая картина мира» (общее выражение окружающей человека реальности, совокупность солнечно-земных явлений).

Наглядное выражение геоэкологической процессности – воздушно-капельная коронавирусная инфекция (COVID-19), охватившая более 150 стран мира. Основополагающая задача процессной геоэкологии – изучение в пространственно-временной конкретности воздействие на жизнь и здоровье человека (населения) окружающей среды (природно-техногенного целого) с целью сохранения, управления геоэкологическими ресурсами как геоэкологическими ценностями. Изучению в пространственно-временной конкретности воздействий на жизнь и здоровье человека (населения) окружающей среды как выражения геоэкологической картины мира отвечает «геоэкологическое ресурсопользование», означающее потребление природных веществ, тел окружающей среды, обеспечивающих жизнь, здоровье и деятельность людей в пространственно-временной конкретности. При этом важно учитывать территориальное согласование интересов ресурсопользователей по ресурсам, условиям и последствиям путем совершенствования территориальной организации ресурсопользования [2]. Человечеству угрожает не исчерпание доступных ресурсов, а опережающее ухудшение качества окружающей среды вследствие функционирования техносферы, не являющейся ни частью, ни ступенью развития биологической природы. «Геоэкологическое ресурсопользование» – это совокупность действий по координации использования геоэкологических ресурсов для оптимизации среды жизнедеятельности населения.

В обеспечении жизни, здоровья, благополучия населения России принципиально исходить из качественных различий между природными и геоэкологическими ресурсами окружающей среды. В законодательном определении природные ресурсы рассматриваются как хозяйственный фактор [5], в отличие от них приоритет геоэкологических ресурсов – это обеспечение жизни, здоровья человека (населения) в местностях нахождения или проживания, что методологически принципиально. Главным природным геоэкологическим ресурсом является излучение Солнца. Ультрафиолетовая недостаточность солнечной радиации

более одного месяца в году отмечается в России севернее 62° с.ш. Дефицит биологически активной ультрафиолетовой радиации Солнца приводит к развитию патологических реакций человека, нарушению обменных процессов, обострению хронических заболеваний, к снижению устойчивости к инфекции, к торможению физического развития. Чрезмерное воздействие ультрафиолетовой части солнечного света может привести к различным заболеваниям глаз и кожи (в том числе злокачественной меланомы). Негативные последствия ультрафиолетового облучения могут проявиться спустя несколько десятков лет. У обгоревшего на солнцепеке ребенка до 12 лет в два раза повышается риск заболеть раком кожи в зрелом возрасте. Обожженное на солнце лицо быстро морщится и несправимо стареет. Солнечное излучение – это основной энергетический поток, обеспечивающий функционирование живых организмов. Вместе с тем использование неистощимых источников энергии Солнца, ветра посредством солнечных батарей и ветряков приводит к накоплению послеэксплуатационных отходов, загрязняющих среду, окружающую человека.

Выявлена чрезвычайная чувствительность физиологических систем, подчеркнем, здорового человека к действию специфических гелиогеофизических факторов, к которым относятся геомагнитные возмущения, солнечные вспышки. Воздействия гелиогеофизических событий на организм здорового человека проявляются в психоэмоциональном состоянии: ухудшается самочувствие, повышается возбудимость, усиливается тревожность индивида. Вслед за реакциями психики и центральной нервной системы отмечаются изменения в деятельности вегетативной, нервной и сердечно-сосудистой систем организма человека независимо от его исходного состояния. В отличие от техногенного влияния гелиогеофизические факторы проникают беспрепятственно в помещения, вызывая разные реакции в организме человека. Поэтому целесообразно заблаговременно прогнозировать значимые изменения окружающей среды, угрожающие жизнедеятельности людей. Геомагнитное поле Земли под влиянием корпускулярных потоков («солнечного ветра») испытывает кратковременные возмущения, называемые геомагнитной бурей, оказывающие влияние на все живое, в том числе и на человека. Геомагнитная буря – это возрастание напряженности геомагнитного поля Земли, обусловленное взрывным увеличением солнечной активности в виде испускания рентгеновского и ультрафиолетового излучения, выброса обладающих значительной энергией заряженных солнечных частиц (плазмы), сверхзвукового движения «солнечного ветра», генерирующего межпланетную ударную волну. Геомагнитные возмущения воздействуют на здоровье человека, на заболеваемость сердечно-сосудистой и нервной систем, на увеличение госпитализаций по поводу психических заболеваний.

В настоящее время проводятся эксперименты по запуску инициированных землетрясений. Создана наземно-космическая система мониторинга и сбора гелиогеофизических данных (облачных сейсмотектонических индикаторов, представляющих собой различные по форме, иногда протяженные до 1000 км аномальные атмосферные структуры) – признаков подготовки и запуска землетря-

сений. Приобретает чрезвычайную актуальность атмосферно-литосферная геоэкологическая экспертиза признаков применения средств (механизма) запуска индуцированных землетрясений с позиции геоэкологической картины мира как всеобъемлющего образа пространственной динамичной реальности.

Выводы

Познание геоэкологической картины мира позволяет действительно рассматривать процессный, ресурсный, ценностный геоэкологические аспекты жизнедеятельности населения, совершенствование государственной активности по оздоровлению окружающей среды в стране. Качество власти и управления определяется уровнем использования и воспроизводства национального достояния – геоэкологических ценностей, представляющих собой незаменимые для жизни, здоровья людей геоэкологические ресурсы (прежде всего, незагрязненные воздух, пресные воды, продукты питания) как современная предметная и социальная действительность. В информационном, экономическом, военном столкновении между Российской Федерацией и англо-саксонским Западом целостность России, чёткий образ её самобытной желаемой будущей стал, по сути, важнейшей ценностью.

Литература

- [1] Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. М.: Научный мир, 2003. 254 с.
- [2] Приваловская Г.А. Территориальная организация использования природных ресурсов: экономико-географический аспект исследования // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1989. № 2. С. 55-65.
- [3] Розанов Л.Л. Учение о геоэкологических процессах: Теория и практика. М.: ЛЕНАНД, 2019. 300 с.
- [4] Розанов Л.Л. Геоэкологические ценности: Теоретические и практические аспекты. М.: ЛЕНАНД, 2022. 272 с.
- [5] Федеральный закон «Об охране окружающей среды». М.: Проспект, 2019. 96 с.

S u m m a r y. The conceptual concept of «geoecological picture of the world» means the solar-terrestrial reality that surrounds and affects the life and health of a person (population). The geoecological picture of the world expresses a comprehensive image of spatial dynamic wholeness. The geoecological picture of the world performs a synthesizing function, combines geoecological knowledge into a single logical system of process geoecology.

ГОД 160-ЛЕТИЯ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.И. ВЕРНАДСКОГО В РАМКАХ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В Г. ДУБНА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Савватеева

Государственный университет «Дубна», г. Дубна, ol_savvateeva@mail.ru

160 YEARS ANNIVERSARY SINCE V.I. VERNADSKY BIRTH AS SPECIAL DIRECTION OF THE DUBNA MOSCOW REGION CONTINUOUS ENVIRONMENTAL EDUCATION SYSTEM

O.A. Savvateeva

Dubna State University, Dubna

Аннотация. В статье обсуждаются возможности приобщения граждан к наследию великого русского ученого и мыслителя, философа, публициста и общественного деятеля В.И. Вернадского в системе непрерывного экологического воспитания, образования и просвещения, сформированной в наукограде Дубна Московской области. К 160-летней годовщине со дня рождения ученого сформирован годовой план работы, в котором могут быть задействованы жители муниципалитета любого возраста, уровня образования и интересов. Мероприятия могут проводиться на различных площадках, как в офлайн, так и в онлайн форматах.

Ключевые слова: В.И. Вернадский, экологическое образование, устойчивое развитие, ноосфера, традиционные методы образования, инновационные методы образования.

Введение

2023 год – год 160-летия со дня рождения Владимира Ивановича Вернадского – ученого-энциклопедиста, основателя нескольких новых направлений в науке, основоположника учения о ноосфере, исследователя и публициста, общественного деятеля, участника экспедиций и философа.

Владимир Иванович Вернадский работал в таких направлениях, как кристаллография, минералогия, изотипия, геология, геохимия, почвоведение, биология, радиология, гидрохимия, биогеохимия, палеонтология, планетология, метеоритика, философия и других.

Также в Год педагога и наставника, объявленный Указом Президента России Владимира Путина, хочется вспомнить о преподавательской деятельности В.И. Вернадского, основании им Украинской Академии Наук, поддержке Таврического университета после Октябрьской революции 1917 г., многих его учениках и последователях [4, 5].

Владимир Иванович смотрел столь широко и далеко вперед, что можно говорить о формировании нынешнего вектора движения мирового сообщества к целям устойчивого развития ООН в связи с именем ученого, а также его соратников Пьера Тейяра де Шардена и Эдуара Луи Эмманюэля Жюльена Леруа.

В.И. Вернадский стоял у истоков ядерной программы СССР и атомной науки в современном понимании.

В связи со сказанным выше необходимость популяризации наследия В.И. Вернадского, очередного обращения к его трудам и мыслям, привлечения внимания к столь значимой личности молодого поколения не вызывает сомнения.

Город Дубна был основан в 1956 г. в связи с началом работы Объединенного института ядерных исследований. В наукограде Дубна с 1994 г. существует

государственный университет «Дубна», исторически именовавшийся университетом природы, общества и человека, главный корпус вуза украшает бюст Владимира Ивановича Вернадского. Эти факторы еще более подкрепляют идею обращения к наследию великого русского и советского ученого.

Воплощение идеи может быть весьма эффективным в системе непрерывного экологического воспитания, образования и просвещения г. Дубны и видится в организации цикла различных мероприятий в течение всего 2023 г.

Регион исследований, объекты и методы

Объектом исследования в данной работе выступает отдельное направление в развитии системы непрерывного экологического воспитания, образования и просвещения г. Дубны Московской области – цикл мероприятий, посвященных 160-летней годовщине со дня рождения В.И. Вернадского. Мероприятия запланированы к реализации на севере Московской области, однако благодаря тому, что некоторые активности пройдут в онлайн формате, проект перейдет указанные границы.

Результаты и обсуждение

Система непрерывного экологического воспитания, образования и просвещения в г. Дубна развивается с 2008-2009 гг. Основными исполнителями в системе являются сотрудники и студенты кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». В рамках системы проводятся самые разнообразные мероприятия и реализуются многие виды деятельности. Ключевую роль играют занятия экологической направленности, проводимые круглогодично на разных площадках: дошкольные образовательные учреждения, школы, техникум, университет, городские библиотеки, Дом ветеранов [2].

Кроме традиционных подходов используются инновационные методы [1]. Важно отметить, что для участников взаимодействия нет ограничений ни по возрасту, ни по уровню подготовки, ни по каким-либо иным критериям [3].

К 160-летней годовщине со дня рождения В.И. Вернадского в рамках работы системы непрерывного экологического воспитания, образования и просвещения г. Дубны во взаимодействии с Неправительственным экологическим фондом им. В.И. Вернадского и рядом партнеров кафедры экологии и наук о Земле, среди которых хочется особо выделить Муниципальную библиотеку Левобережья г. Дубны, запланированы следующие активности:

- экологические занятия по тематике наследия В.И. Вернадского;
- выставки литературы в библиотеке университета «Дубна» и в Муниципальной библиотеке Левобережья;
- конференция «Ноосферная безопасность»;
- кинофестиваль «В.И. Вернадский: личность, переступавшая границы»;
- минилекции и квесты по тематикам биографии, наследия В.И. Вернадского, местам сохранения памяти ученого;
- проект в соцсетях «Вернадский И Вы».

Рассмотрим указанные направления деятельности более подробно.

Экологические занятия по тематике наследия В.И. Вернадского уже апробированы на различных площадках г. Дубны. Стартовые занятия проводились для школьников разных классов, в том числе с использованием выставочных образцов горных пород и минералов кафедры экологии и наук о Земле. В течение года занятия будут проводиться для участников всех возрастов.

Выставки литературы в библиотеке университета «Дубна» и в Муниципальной библиотеке Левобережья будут реализованы как в офлайн, так и в онлайн форматах для обеспечения возможностей всех интересующихся наследием В.И. Вернадского познакомиться с материалами. В составы экспозиций войдут труды ученого и литература по сферам деятельности, в которых он работал.

Конференция «Ноосферная безопасность» организуется сотрудниками кафедры экологии и наук о Земле и является продолжением цикла научных мероприятий, уже неоднократно проводимых по проблемам различных геосфер Земли.

Кинофестиваль «В.И. Вернадский: личность, переступавшая границы» представляет собой цикл фильмов, снятых в разные годы и имеющихся в открытом доступе в сети Интернет. После просмотра каждой ленты все заинтересованные участники фестиваля имеют возможность принять участие в обсуждении самих фильмов, а также идей, которые в них поднимаются. Для увеличения аудитории дискуссии планируются в формате онлайн в вечернее время.

Стартовые минилекции и последующие квесты по тематикам биографии, наследия В.И. Вернадского, местам сохранения памяти ученого будут проведены для школьников старших классов и студентов на территории университета «Дубна», Муниципальной библиотеки Левобережья и Молодежного центра «Инициатива» г. Дубны. Повышение информированности через игровые формы, в частности квесты, зарекомендовал себя уже на протяжении ряда лет, является весьма привлекательным для подростков, апробирован на различных темах.

Проект в соцсетях «Вернадский И Вы» разрабатывается совместно сотрудниками и студентами кафедры экологии и наук о Земле и сотрудниками Муниципальной библиотеки Левобережья и представляет собой цикл видеороликов по обсуждению с жителями г. Дубна ключевых высказываний В.И. Вернадского и сфер его исследований и трудов с последующим размещением на информационных каналах библиотеки.

Все предложенные мероприятия могут быть тиражированы на любые другие территории исполнения.

Выводы

В.И. Вернадский был человеком, бесконечно преданным науке и людям, для которого открытой была вся наша планета, вся Солнечная система. Ему было суждено пережить фактически 2 войны, революцию, ссылку, эвакуацию и другие очень непростые периоды и события. Однако он всегда был великим творцом, мыслителем, деятелем, созидателем, несмотря на все обстоятельства. Наследие Владимира Ивановича составляет около 700 трудов, несколько томов писем и заметок, он воспитал около 20 талантливых учеников, открыл новые направления исследований, положил начало производствам и отраслям.

В.И. Вернадский – наш современник, это человек, опередивший время, на его идеях базируются институты и научные сообщества. И почти наверняка не все его идеи полностью реализованы и развиты, а значит, есть потенциал новых открытий.

160-летняя годовщина со дня рождения В.И. Вернадского – прекрасная возможность приобщиться к его работам и мыслям, сделать личный вклад в становление общества на пути устойчивого гармоничного развития, в возможности которого был так убежден этот гений.

Литература

[1] *Савватеева О.А.* Инновационные методы для повышения эффективности экологического образования в муниципалитете. // Гуманитарные и естественно-научные факторы решения экологических проблем и устойчивого развития: материалы восемнадцатой международной научно-практической конференции (Новомосковск, 15-16 октября 2021 г.) / Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Новомосковский институт. Новомосковск, 2021. Ч. 1. С. 139-143.

[2] *Савватеева О.А.* Модель непрерывного экологического образования в условиях города. // Образование-2030. Учиться. Пробовать. Действовать. Сборник статей VII Всероссийской конференции по экологическому образованию [Электронный ресурс]. – Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского, 2021. М.: МНЭПУ, 2021. С. 219-223.

[3] *Савватеева О.А.* Системный подход к стратегии экологического образования в муниципалитете // Культура и экология – основы устойчивого развития России. Культурное и природное наследие – ключевой ресурс социально-экономического развития: материалы Международного форума (Екатеринбург, 13-15 апреля 2022 г.). Екатеринбург: ФГАОУ ВО УрФУ, 2022. С. 168-173.

[4] <https://biographe.ru/uchenie/vladimir-vernadskiy/> – биография В.И. Вернадского / сайт «Биограф». Режим доступа: свободный. Дата посещения: 06.03.2023.

[5] https://www.youtube.com/watch?v=klmY7W_2An4 – вебинар Государственной публичной научно-технической библиотеки России «В.И. Вернадский: человек, ученый, мыслитель». Режим доступа: свободный. Дата посещения: 01.03.2023.

S u m m a r y. The article discusses the possibilities of citizens introducing to the heritage of the great Russian scientist and thinker, philosopher, publicist and public figure V.I. Vernadsky in the system of continuous environmental upbringing, education and enlightenment that is formed in Dubna science city Moscow Region. For the scientist's birth 160-year anniversary an annual work plan has been formed. Residents of the municipality of any age, level of education and interests can be involved in this plan. Events can be held at various venues both offline and online.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЛЕДОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЕДНИКОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА АКТУАЛИЗМА И С ПОЗИЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ И КРИОЛИТОЗОНЫ

В.С. Шейнкман^{1,2}, А.И. Кашдан³

¹*Институт криосферы Земли, ФИЦ Тюменский НЦ СО РАН,*

²*Тюменский госуниверситет, Тюмень, Россия, vlad.sheinkman@mail.ru,*

³*Политехнический институт Монреаля, Монреаль, Квебек, Канада,
adamtykashdan@gmail.com*

INTERPRETATION OF GEOLOGICAL WORK AND RELICS OF GLACIERS ON THE PRINCIPLE OF ACTUALISM AND FROM THE POSITION OF INTERACTION OF GLACIATION AND PERMAFROST

V.S. Sheinkman^{1,2}, A.Y. Kashdan³

¹*Earth Cryosphere Institute, FRS Tyumen RS SB RAS, Tyumen, Russia,*

²*Tyumen State University,*

³*Polytechnique Montréal, Montreal, Quebec, Canada*

Аннотация. В итоге многолетних исследований ледников и сопутствующих им явлений авторы собрали большой фактический материал. На его основе, опираясь на принцип актуализма, оценен потенциал проводимой ледниками геологической работы, особенно в условиях криолитозоны. Сделан вывод, что касательно этой работы ряд необходимо пересмотреть исторически сложившиеся стереотипы, изменив подходы к ряду палеокриологических реконструкций.

Ключевые слова: ледники, формы геологической деятельности ледников, морены.

Введение

Принцип актуализма является основой палеокриологических реконструкций, но в отношении его применения в аспекте геологической деятельности ледников, особенно в случае их образования в условиях криолитозоны, накопились противоречия со сформировавшимися ранее стереотипами восприятия этой деятельности. Причина в том, что изначально для выводов о функционировании ледников и проводимой ими работе служили суждения о них по внешнему облику, прежде всего в Альпах, где они впервые стали изучаться. Исходно результаты этого изучения были заложены в основу учения о ледниках и гляциальных явлениях в целом [24, 25] и со временем превратились в стереотипы. По мере насыщения знаний о ледниках новой информацией, выяснилось, что они формируются своеобразно – в строго определенной ситуации за счет накопления и осадочно-метаморфического преобразования снежной массы. Но первые исследователи не вникали в суть специфики ледников как потоков вязкопластического вещества и особенностей их динамики. Визуально фиксируя большое количество обломочного каменного материала на поверхности альпийских ледников и по их периферии и наблюдая его перемещение потоком льда, они предположили, что ледники активно эродировали свое ложе, насыщая при этом свое тело обломками горных пород и затем перенося их. Также, согласно подобному предположению, считалось, что в придонном слое образуется базальная морена значительной мощности, которая может содержать большой объем обломочного ма-

териала. Кроме того, предполагалось, что движущийся лед ледника может работать по принципу бульдозера, срезая породы днища и создавая в краевой части потока льда напорно-моренные формы рельефа.

В итоге на этой основе сформировался устойчивый стереотип восприятия деятельности ледников, и при проведении палеокриологических реконструкций многие исследователи, встречая различные скопления эрратического материала, привычно относили его к ледниковым отложениям, сформировавшимся в результате экскавации и экзарации ледником вмещающей его формы рельефа. Хотя причины для транспортировки каменных обломков много, и они могут быть самыми различными [4, 6, 12, 15, 18].

Отмеченного стереотипа придерживались, в том числе, и первые исследователи древних форм оледенения на территории России – наследуя стереотипы альпийской гляциологической школы, встречаемые скопления эрратического каменного материала они привычно относили к ледниковым отложениям [5, 7, 14]. Больше того, с такими отложениями стали сопоставлять практически все виды диамиктона, хотя этот термин был предложен как не несущий генетической нагрузки и характеризующий сугубо структурные свойства рыхлых несортированных грубообломочных пород [23]. По мере накопления новых знаний и раскрытия законов функционирования ледников и их геологической деятельности выяснилось, что подход на основе отмеченных стереотипов далеко не всегда однозначен [4, 6, 12, 15, 18], особенно в Сибири, где все ледники сегодня находятся в области распространения многолетнемерзлых пород, и, тем более, они были таковыми в холодные эпохи прошлого [17, 18, 19, 20].

Авторы много лет изучали особенности развития современного и древнего оледенения и пришли к выводу, что деятельность ледников имеет специфические черты, не укладывающиеся в рамки прежних стереотипов, и последние необходимо пересматривать. Об этом и пойдет речь в настоящей работе, причем предлагаемый в ней материал представлен с учетом как освещенных в литературе данных, так и непосредственно основанных на результатах исследований авторов в разных ледниковых районах.

Исходные позиции, методы и объекты

Лед в геологическом отношении является специфическим минералом, который входит в состав ряда горных пород, в которых он присутствует в различных модификациях, в том числе образуя образования из монолитного льда. Будучи хрупким минералом или монолитной породой, сложенной этим минералом, лед при постоянном длительном давлении на него становится вязкопластическим веществом, способным к медленному течению, что характеризует ледники, представленные потоками такого вещества. Поэтому при интерпретировании характеристик функционирования ледников и их геологической деятельности учет физических свойств льда является одной из необходимых методик исследования. Для начального осуществления процесса течения льда на образуемом им ледниках необходимо давление на потенциально способный к течению массив льда около 1 кг/см^2 , т.е. около $0,1 \text{ М Па}$ [2, 13]. Оно возникает на основании столба ледяной толщи при достижении им высоты около 10 м ; в случае снежно-

ледовой толщи величина столба должна быть, конечно, существенно больше, поскольку плотность льда составляет примерно $0,9 \text{ г/см}^3$, а у даже слежавшегося снега она вдвое меньше. Течение льда у ледников в соответствующей ситуации представляет собой реализацию потенциальной, накапливаемой за счет гравитации, энергии его вещества и дальнейшей ее трансформации в кинетическую энергию, затрачиваемую на движение ледового вещества и преодоление трения вдоль ложа и бортов вмещающей лед формы рельефа, а также адгезии, вызванной смерзанием с ними основания ледникового потока. Как и у любой текущей по земной поверхности субстанции ее движение при реализации сообщенной ей кинетической энергии подчиняется экспоненциальному закону с последующей выработкой, в процессе такого движения, профиля равновесия – аналогично формированию подобного профиля у флювиальных потоков. Просто на ледниках выработка профиля равновесия в процессе их движения идет своеобразно (см. ниже).

Приняв во внимание отмеченные физические свойства льда, авторы проанализировали характеристики различных ледников в разных районах, опираясь на литературные источники и на данные собственных многолетних наблюдений за ледниками и проводимой ими геологической работы. Основными объектами исследований при этом служили соответствующие гляциальные явления в Сибири и Канаде.

Результаты и их обсуждение

Выработка профиля равновесия в процессе движения ледников ясно фиксируется линиями тока льда. Если отследить эти линии (рис. 1) как у горных ледников, текущих в условиях их подчинения рельефу – в пределах вмещающих их долин, так и покровных, у которых рельеф подчинен оледенению, представленному тогда крупными ледниковыми телами караваяобразной формы – с растеканием льда во всех направлениях, четко отражается экспоненциальный характер кривых этих линий.

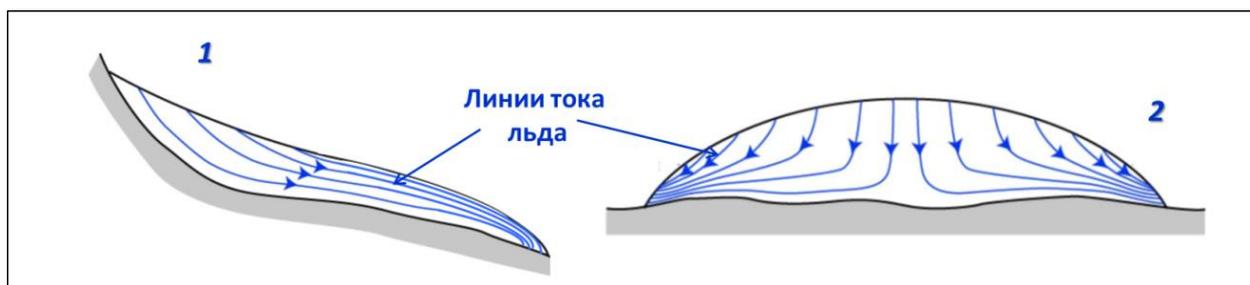


Рис. 1. Общая схема линий тока льда на ледниках, отражающих движение льда по экспоненциальному закону: 1 – профиль горного ледника, 2 – профиль покровного ледника. Пояснения в тексте.

Недавно этот вопрос был подробно рассмотрен в фундаментальной монографии [4], поэтому детально останавливаться на нем не будем. Отметим только, что согласно принципу соответствия между климатом, рельефом и оледенением, который был обоснован одним из создателей российской гляциологической

школы М.В. Троновым [9, 10], ледники формируются как обладающие движением ледовые тела определенной формы, и это движение подчиняется законам течения вязкопластической субстанции.

Проблема состоит в том, что долгое время специалисты, рассматривающие следы геологической деятельности ледников, подходили к вопросу о характере их течения формально. Они считали его результатом движения льда параллельно поверхности ледника – подобно скольжению крупного ледяного блока с большой величиной горизонтальной составляющей, вследствие чего движущийся лед мог бы, по их мнению, ощутимо эродировать вмещающие его формы рельефа и, обладая значительным напором, передвигать перед собой, в виде напорной морены, большое количество обломочного материала. Тогда как ледник использует энергию своего вещества по-иному. Основной ее запас накапливается веществом ледника в области его питания за счет гравитации – посредством аккумуляции снега, как осадочной породы атмосферного происхождения, и ее преобразования в ходе осадочно-метаморфического процесса в монолитный лед. Соответственно образующемуся давлению – сверху вниз, затем начинающееся течение льда имеет вертикальную составляющую и, будучи ориентированным вначале в этом направлении, реализует на него трансформированную в кинетическую энергию движущегося льда потенциальную энергию снежной массы. Приближаясь к ложу, ток льда меняет направление и, уже истратив основную часть энергии, текущий лед начинает пологое движение с горизонтальной составляющей вдоль ложа (см. рис. 1).

Фактически течение льда у ледников – это результат расползания их вещества, а не глыбовое скольжение по уклону, как считалось согласно отмеченным стереотипам. Из сказанного вытекает ряд важных положений. У холодных ледников (а именно таковыми они были представлены в холодные эпохи плейстоцена и таковыми являются все современные ледники Сибири [18, 20, 26]) большая их часть находится в рекристаллизационной зоне льдообразования, с малой величиной снежной аккумуляции, и на образование способного к течению льда тогда требуется длительное время, причем он появляется в области питания на большой глубине. Например, в области аккумуляции в центре Гренландского ледникового щита на образование первого, под снежной толщей, слоя ледникового льда уходит около 300 лет, и это имеет место на глубине около 60 м от ее поверхности, а в районе станции Восток в Антарктиде аналогичный процесс происходит на глубине около 100 м и на него затрачивается около 2500 лет [1].

Изучение современных покровных и горных ледников показало, что движение льда у них, отражая выработку профиля равновесия – с формированием линий тока по экспоненциальным кривым, когда накопленная ледниками потенциальная энергия тратится большей частью на течение льда, подтверждается тем, что эродирующее воздействие ледников, как потоков вязкопластического вещества, невелико и выражается не в выпахивании и экскавации ложа, а в его истирании и абразии [4, 12, 15, 18]. Тем более что в самом потоке льда ввиду его физических свойств превалирует явления соскальзывания вышележащих слоев по нижележащим. Особенно это касается ледников в области криолитозоны: у

них ледовое тело приморожено к мерзлому ложу, на котором адгезия максимальна. Кроме того, такое ложе не уступает по твердости многим скальным породам, даже если они представлены замороженными былыми рыхлыми отложения [13].

Вообще говоря, лед и сложенная им горная порода – это относительно мягкие субстанции. Твердость льда по шкале Мооса при 0 °С составляет 1,5 единицы, с понижением температуры она увеличивается, но приближается к 2 единицам лишь при температуре –10 °С, ниже которой охлаждение даже на ложе самых холодных ледников фиксируется редко. Для сравнения: 2 единицы по шкале Мооса, соответствующие сопротивлению внешнему давлению в 360 МПа, имеет ноготь человека, а из распространенных минералов только гипс. Уже кальцит намного тверже – 3 единицы по шкале Мооса, соответствующие сопротивлению внешнему давлению в 1090 МПа, тогда как большинство магматических и метаморфических пород имеет твердость 4-6 единиц по школе Мооса, соответствующие сопротивлению давлению в несколько тысяч МПа [2].

С другой стороны, есть такое распространенное в области криолитозоны ледовое образование как наледь, обусловленное послойным намерзанием речных и подземных вод на открытой дневной поверхности днища долин и состоящее в основном из монолитного повторно-конжеляционного льда. Критической 10-м толщины, необходимой для течения льда в ее основании, наледь достигает редко, будучи формируемой медленно, в течение холодного сезона года. Хоть и изредка, такой мощности она может достичь только к концу его, а затем, если продолжает наращивать толщину, начинает расползаться у основания, с током льда вдоль него, поскольку впоследствии не поддерживается пополнением ледовой массы, а в теплый сезон года полностью находится в области абляции (рис. 2).

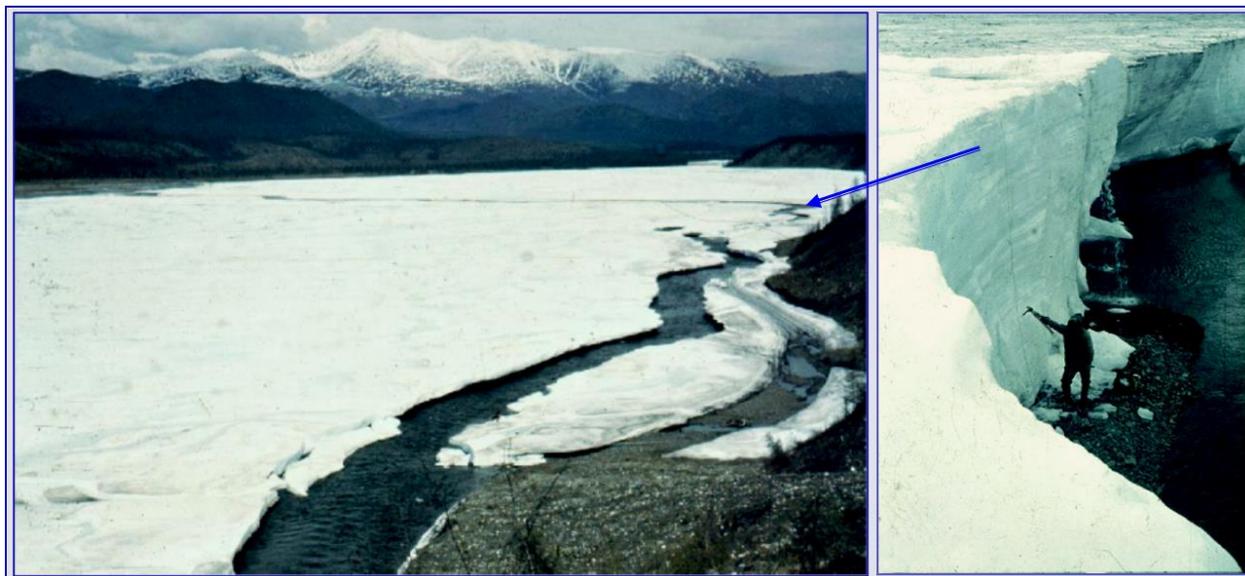


Рис. 2. Гигантская наледь в долине р. Адычи, горная система Черского, Якутия, 1982 г.
Фото из архива В.С. Шейнкмана.

Так или иначе, обломочный материал, оказавшись под толщей льда и обладающий намного большей твердостью, будет просто вдавлен в пластичный

лед и, находясь у основания ледяной толщи, в лучшем случае при течении льда с соответствующем направлении станет играть роль абразива. Следовательно, главная роль ледников как агента геологической деятельности будет состоять в ином – в перемещении продуктов выветривания, попадающих на поверхность льда с окружающих склонов (рис. 3), т.е. ледники работают не по принципу бульдозера-экскаватора, как привычно считалось, а как конвейер: сносимый на их поверхность обломочный материал перемещается в их краевую часть.

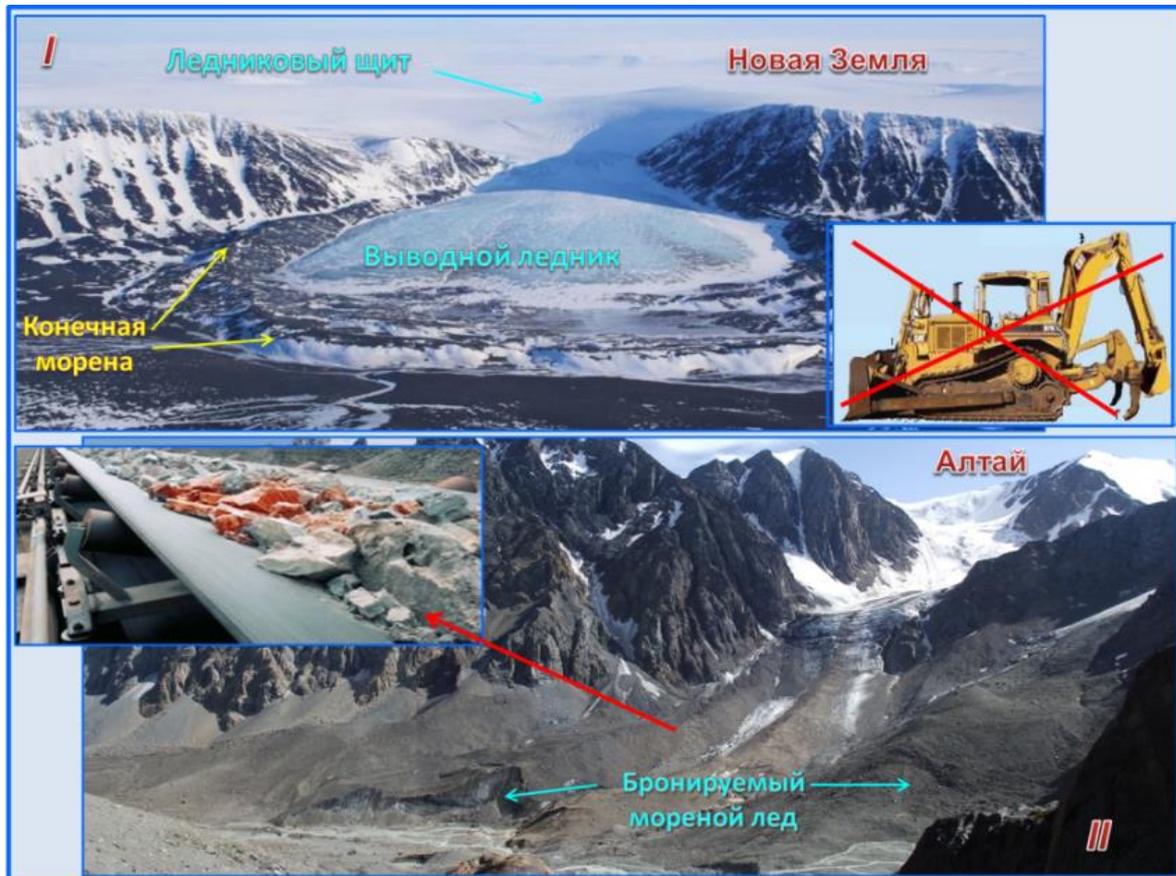


Рис. 3. Различный характер морен у покровных и горных ледников:

I – покровный ледник Астрономический и его выводной поток льда, Новая Земля, фото из архива <https://www.google.ru/search?q=ледник+новая+земля&newwindow>; *II* – горный ледник Большой Правый Актру, Алтай, июль 2011 г., фото из архива В.С. Шейнкмана. Пояснения в тексте.

Особенно это касается покровных ледников, тело которых большей частью стерильно; исключение составляют выводные потоки: у них на выходе из области основного покрова могут быть скальные склоны, с которых сыплются продукты выветривания, питая поверхностную морену (см. рис. 3). Обо всем этом говорит и опыт работы авторов на разных современных ледниках, и анализ литературы, тем более что строение многих ледников вскрыто бурением [15, 21, 22, 27]. Уже первые исследования ледникового щита Антарктиды показали, что слои с заметным включением обломочного материала наблюдаются только в придонном льду, в основном – у края выводных ледников, и мощность их, измеряясь метрами, несопоставимо мала относительно преобладающе чистой 3–4-км толщи ледника. При этом обломки пород, обычно представляя собой мелкозем,

лишь в тонком слое придонного льда имели долю до 25%, а в целом она была менее 2%. Вытаяв, они образовали бы слой всего в первые десятки сантиметров толщиной [3]. Позднее лед Антарктиды был пройден серией скважин, и в отдалении от края выводных ледников и на шельфе керны практически по всей толще были чистые, фиксируя только у ложа маломощные слои мелкозема, в котором лишь отдельные частицы имели размер в несколько миллиметров. Хотя многие из ледников Антарктиды и островной Арктики ныне пройдены бурением [15, 21, 22, 27], за пределами краевой зоны выводных ледников льда с заметной долей обломочного материала не обнаружено – по периферии этих ледников скапливается только сносимый ими материал поверхностной морены (см. рис. 3)

По сути, примороженные к ложу ледники холодного типа, как горные, так и покровные, являются своеобразным компонентом криолитозоны. (В Сибири все они и глубоко охлаждены, и еще больше охладились в криохроны квартера [19, 20]). Как отмечено выше, движение таких ледников происходит послойно: вышележащие слои у них скользят по находящимся ниже и, тем более, по слоям, примороженным к ложу, на контакте с которым адгезия максимальна. Но и у теплых ледников трение на талом основании будет тормозить течение придонного льда: они более пластичны, и вышележащим слоям льда легче скользить по нижележащим слоям, чем по ложу. В любом случае на контакте с ложем лед, будучи вязкопластической субстанцией, намного уступающей по твердости скальным породам, способен лишь истирать ложе или абрадовать его включенным в лед каменным материалом, которого в теле ледника формируется немного, что хорошо видно на рис. 4, на котором отображено теплый ледник Мер-Де-Глас в Альпах.

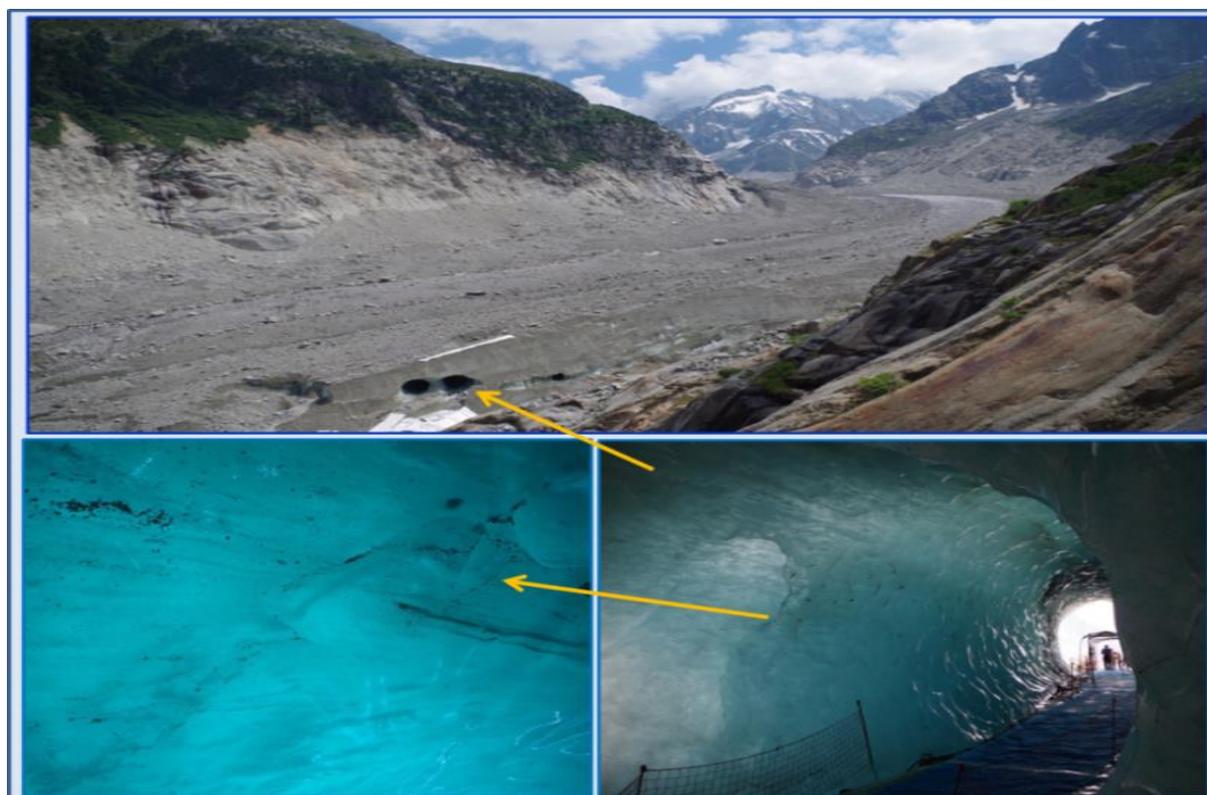


Рис. 4. Ледник Мер де Глас, Альпы, 2018 г. Фото из архива В.С. Шейнкмана.
Пояснения в тексте.

Относится это и к горным ледникам, и к покровным. Для примера: материалы по скважине GISP-2, прошедшей всю толщу ледника Гренландии, продемонстрировали [21]: придонный лед имел возраст около 300 тыс. лет, приморожен к ложу, будучи охлажден до -9°C , и на нём фиксирован слой с мелкими валунами мощностью лишь около полуметра; выше лежал 13-м слой льда с рассеянными частицами силта, а остальная 3-км ледовая толща была чистой.

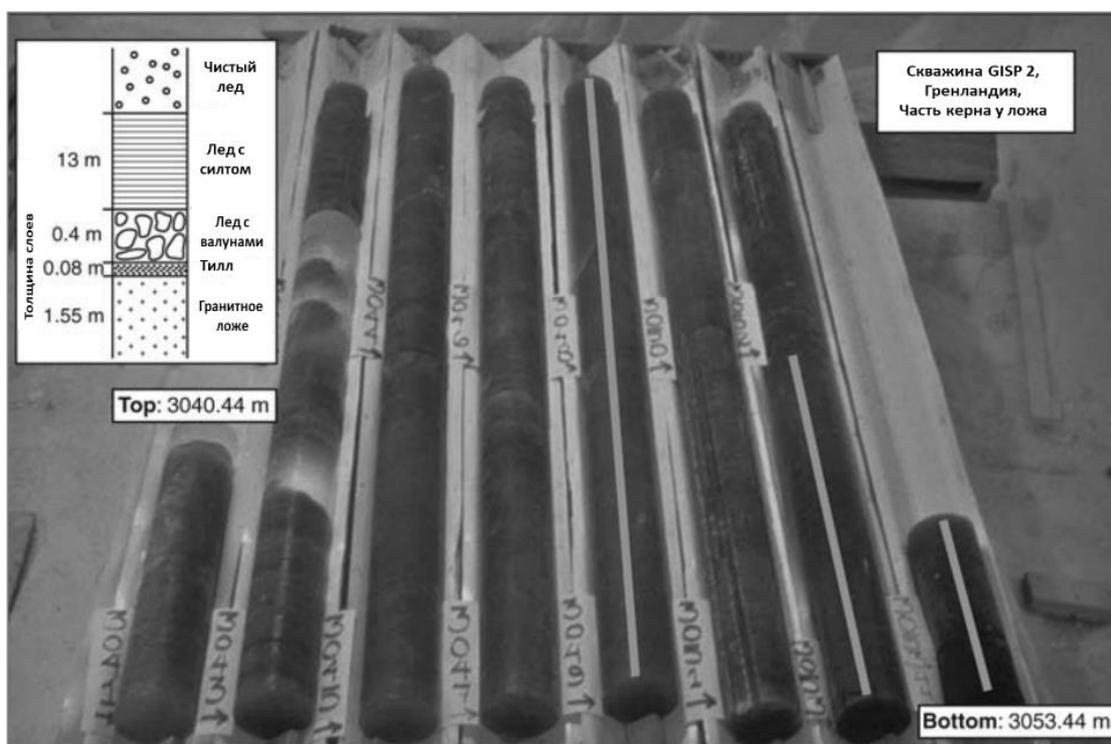


Рис. 5. Керн в придонном льду ледника Гренландии, по [14].

Аналогичны результаты по скважинам других покровных ледников [15, 22, 27], а также наблюдения, проведенные на них – они фиксируют, что такие ледники лишены поверхностной и внутренней морены и мало содержат обломочного материала в придонной части. Это наглядно отражено на рис. 6-I и 6-II.

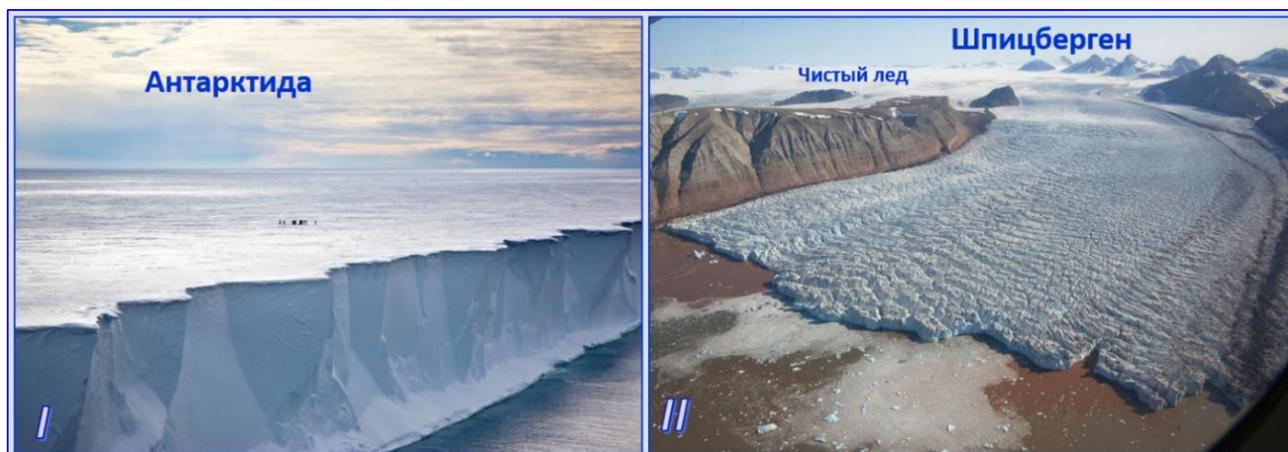


Рис. 6. Фрагмент краевой части Антарктического ледникового покрова (I) и одного из отступающих выводных ледников Шпицбергена (II). Современность.

Фото из интернета свободного доступа.

На первом из них, на рис. 6-*I*, демонстрируется фрагмент обрыва, представленного практически чистым льдом в краевой части Антарктического ледникового покрова, а на втором, на рис. 6-*II* – один из отступающих выводных ледников Шпицбергена, тело которого тоже в основном состоит из чистого льда, и он оставляет за собой фактически свободное от морены днище. Много обломочного материала переносят только горные ледники – в виде поверхностной морены, питаемой осыпями со склонов. Но и под ней преобладает чистый лёд, что хорошо видно на рис. 4 и 7, где под поверхностной мореной везде проглядывает голубой лёд, а в стенках туннелей у ложа ледника отслеживаются лишь отдельные тонкие слои мелкозема.



Рис. 7. Ледник Нины Азаровой, хр. Кодар, Забайкалье, 2013 г.
Фото из архива В.С. Шейнкмана. Пояснения в тексте.

Поскольку ледники спускаются на пространство, покрытое аллювием или иным обломочным материалом, они абсорбируют его, он вдавливаются в лёд, формируя придонный мореносодержащий слой, но даже на крупнейших горных ледниках доля в нем обломков горных пород невелика – она составляет в нем около 25% [8]. Внутренней морены тоже мало. Обломки на днище могут быть вдавлены в лёд только у основания ледника, а на его поверхности большей частью просто лежат на ней, что хорошо просматривается на рис. 6, где отображен крупнейший ледник Забайкалья – Нины Азаровой. Видно, что крупные обломки, не успевая даже в теплое время года впитать и накопить тепло, достаточное для их впаивания в лёд и компенсирование затем их охлаждения во льду [16]. Они

лежат на льду, предохраняя его на некоторое время от таяния (рис. 7-II). Плохо проникает в лед и мелкозем: его частицы вбирают мало тепла и быстро отдают его льду; залегая дисперсно, они затемняют лед, усиливая абляцию, но, если образуют локальные покрытия, могут замедлить на некоторое время активное таяние льда тоже (рис. 7-III). Успевают прогреться и внедриться на несколько сантиметров в лед обломки в размерности среднего щебня: глубже без поступления к ним тепла и они не могут быть впаяны в холодный лед. На большую глубину обломки попадают через трещины и оторвавшись от нунатаков [16].

В силу того, что ледник работает как конвейер, в его краевой части формируется сплошное покрытие поверхностной мореной (рис. 7-I). В случае стационарности ледника она станет перегружаться обломками, создавая видимость мощного покрытия, но и в этом случае обломки лишь облакают лед слоем малой мощности (рис. 7-IV), а в объеме содержащего морену льда их доля невелика [8, 15, 16]. При отступании ледников бронирование его обломками начнет охватывать область абляции (см. рис. 3, 4, 5), но лед это предохранит ненадолго. При омертвлении льда в языковой части ледник, будучи не возобновляемым, все равно начнет таять, так как сквозь грубодисперсный материал с воздухом и тальми водами будет проникать тепло, и, согласно разработкам Г.М. Фельдмана [11] лед под таким слоем обломков вытаивать будет достаточно быстро.

Выводы

Имеющийся сегодня материал изучения современных ледников, будучи использован как инструмент метода актуализма, убедительно свидетельствует, что сформировавшиеся стереотипы о большой роли их напорного воздействия, экскавации и экзарации с активным формированием базальной морены и ее мощным накоплением требуется пересмотреть. Особенно в Сибири, анализ закономерностей палеокриологического развития которой [17, 18] говорит об отсутствии здесь условий для формирования ледниковых щитов.

Благодарности

Работа выполнена по теме госзаданий 121041600043-4 и 121042000078-9.

Литература

- [1] Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: РАН, Ин-т географии, 1997, т. 1, 392 с.; т. 2, кн. 1, 263 с.; т. 2, кн. 2, 270 с.
- [2] *Бородинский В.В., Гаврило В.П.* Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометеиздат, 1980, 384 с.
- [3] *Евтеев С.А.* Геологическая деятельность ледникового покрова Восточной Антарктиды. М.: Наука. 1964. 120 с.
- [4] *Крапивнер Р.Б.* Кризис ледниковой теории: аргументы и факты. М.: ГЕОС, 2018, 320 с.
- [5] *Кропоткин П.А.* Исследования о ледниковом периоде. Записки РГО по общей географии. Вып. 1. Т. 7. СПб, 1876, 836 с.
- [6] *Кузин И.Л.* Мифы и реалии учения о материковых оледенениях. СПб.: Изд-во СЗНИИ «Наследие», 2013. 178 с.

- [7] *Обручев В.А.* Признаки ледникового периода в Северной и Центральной Азии // Избр. работы по географии Азии. М.: Географгиз. 1951. Т. 3. С. 49-128.
- [8] *Серебряный Л.Р., Орлов А.В., Соломина О.Н.* Морены – источник гляциологической информации. М.: Наука, 1989. 236 с.
- [9] *Тронов М.В.* Факторы оледенения и развития ледников. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1972, 235 с.
- [10] *Тронов М.В.* Проблема гляциоклиматических показателей. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1978. 168 с.
- [11] *Фельдман Г.М.* Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. Новосибирск: Наука, 1977, 190 с.
- [12] *Шило Н.А. Данилов И.Д.* «Великие» оледенения: факты против теории // Наука в СССР. 1984. № 4. С. 44-53.
- [13] *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная). М.: Высшая школа, 1973, 446 с.
- [14] *Черский И.Д.* К вопросу о следах древних ледников в Восточной Сибири // Известия Восточно-Сибирского отдела Императорского Русского Географического общества. 1882. Т. 12. № 4-5. С. 28-62.
- [15] *Чувардинский В.Г.* Результаты сквозного разбуривания ледниковых покровов Арктики и Антарктиды и их значение для решения проблем четвертичного периода // Известия РГО. 2012. Т. 144. Вып. 2. С. 28-41.
- [16] *Шейнкман В.С.* Пластовые залежи подземного льда в свете данных об оледенении Сибири // Геосферные исследования. 2017. № 2. С. 14- 32.
- [17] *Шейнкман В.С., Мельников В.П.* Ледники Сибири как компонент криолитогенно-гляциальных геосистем // Криосфера Земли, 2014, т. 18, № 2. С. 3-23.
- [18] *Шейнкман В.С., Мельников В.П., Седов С.Н., Парначев В.П.* Новые свидетельства внеледникового развития севера Западной Сибири в квартере // ДАН. География. 2017. Т. 477. № 4. С. 480-484.
- [19] *Шейнкман В.С., Мельников В.П.* Эволюция представлений о холоде и возможные пути их развития в науках о Земле // Криосфера Земли, 2019, т. 23, № 5. С. 3-16.
- [20] *Шейнкман В.С., Мельников В.П., Парначев В.П.* Анализ криогенных и тектонических процессов на севере Западной Сибири в плейстоцене с позиций криогетеротопии // Доклады РАН. 2020. Т. 494. № 1. С. 82-86.
- [21] *Bierman P. R., Corbett L.B., Graly J.A., Neumann T.A., Lini A., Crosby B.T., Rood D.H.* Preservation of a Preglacial Landscape Under the Center of the Greenland Ice Sheet // Science. 2014. Vol. 344, pp. 402-405.
- [22] *Dowdeswell J. O. Cofaigh C, Pudsey C.* Thickness and extent of the subglacial till layer beneath an Antarctic paleo-ice stream // Geology. 2004. № 32, pp. 13-16.
- [23] *Flint R.F. R. Sanders J.E.; Rodgers J.* Diamictite, a substitute term for symmic-tite // Bull. of Geol. Soc. of Amer., 1960. V. 71, pp. 1809-1810.
- [24] *Penck A., Brückner E.* Die Alpen im Eiszeitalter, Bd. 1-3, Lpz., 1909, 1199 p.
- [25] *Saussure O.B.* Voyages dans les Alps. V. 1: Neuchatel, Switzerland, 1779, 638 p.; V. 2: Geneve, Switzerland, 1796, 540 p.

[26] *Sheinkman V.* Quaternary glaciation in North-Western Siberia – New evidence and interpretation // *Quaternary International*. 2016. Volume 420, pp. 15-23.

[27] *Talalay P.G.* Subglacial till and bedrock drilling // *Cold Regions Science and Technology*. 2013. Vol. 86, pp. 142-166.

S u m m a r y. Studying glaciers and phenomena accompanied them, the present authors have obtained significant material, and on such a base, founding on principle of actualism, potential to carry out geological work by the glaciers have been analyzed. A conclusion has been drawn that it is necessary to reconsider historically habitual prevalent stereotypes concerning that work, and to change, correspondingly, approaches to some of paleocryological reconstructions.

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

MODERN QUESTIONS OF PHYSICAL GEOGRAPHY

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОРИЕНТАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ФОРМ ПОДЛЕДНОГО РЕЛЬЕФА АНТАРКТИДЫ

В.М. Анохин^{1,2}, А.В. Пронина¹, К.А. Шихирина¹

¹РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург,

²ЛГУ им. А.С. Пушкина, г. Санкт-Петербург, vladanokhin@yandex.ru

REGULARITIES OF ORIENTATION OF LINEAR FORMS OF THE SUB-ICE RELIEF OF ANTARCTIA

V.M. Anokhin^{1,2}, A.V. Pronina¹, K.A. Shikhirina¹

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg,

²Pushkin State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg,

Аннотация. Авторами был проведен линеаментный анализ линейных форм подледного рельефа Антарктиды. Картографической основой служила Карта подледного рельефа Антарктиды. На карте трассировались оси прямолинейных форм рельефа – хребтов и долин, а также бровки уступов. Выделялись как первичные линии рельефа, так и более крупные объекты – линеаменты. После этого измерялись азимуты первичных линий, а также их длины. Результаты измерений сводились в таблицу, на основании которой была построена роза-диаграмма направленности линейного рельефа. На этой розе-диаграмме выделен ряд общих закономерностей направленности линейных форм рельефа Антарктиды, в частности, существенное соответствие направлений этих форм направлениям главных систем планетарной трещиноватости.

Ключевые слова: подледный рельеф, Антарктида, линеамент, азимут, роза-диаграмма, планетарная трещиноватость.

Введение

Регулярные научные исследования Антарктиды проводятся с конца 40-х годов 20-го столетия. Практически сразу после организации первых регулярных научных антарктических экспедиций стали проводиться геоморфологические исследования – сначала прибрежных районов, свободных от ледника, затем, с развитием техники и методик дистанционного зондирования – подледного рельефа. Эти исследования проводились в рамках научных программ нескольких государств, таких, как СССР (впоследствии – Российская Федерация), США, Австралия, Франция, Норвегия, Новая Зеландия, Аргентина, Чили, Великобритания, и многие другие. В числе российских организаций, занимавшихся изучением подледного рельефа Антарктиды, можно упомянуть ААНИИ, ПМГРЭ, Санкт-Петербургский горный университет, МГУ, СПбГУ и другие.

Результаты исследований были опубликованы в многочисленных статьях, атласах и монографиях, из которых здесь может быть упомянута лишь малая часть ввиду ограниченного объема статьи [5-10].

Использование линеаментного анализа представляется авторам интересным и многообещающим методом для выявления закономерностей ориентации линейных форм рельефа в различных регионах Земли, и, в частности, подледного рельефа Антарктиды. Результаты анализа представлены в данной статье.

Объект и методика

Подледный рельеф Антарктиды довольно сложен и представлен, помимо площадных структур, довольно большим количеством линейных форм – хребтами, долинами, уступами (рис. 1). В основном рельеф сложен морфоструктурами, отражающими тектонические объекты, что довольно важно для обоснования целесообразности применения линеаментного анализа и последующей интерпретации его результатов. Существенная часть подледной твердой поверхности материка располагается ниже уровня океана. Исследованию подверглись линейные объекты районов, занимающих положение как выше, так и ниже уровня океана.

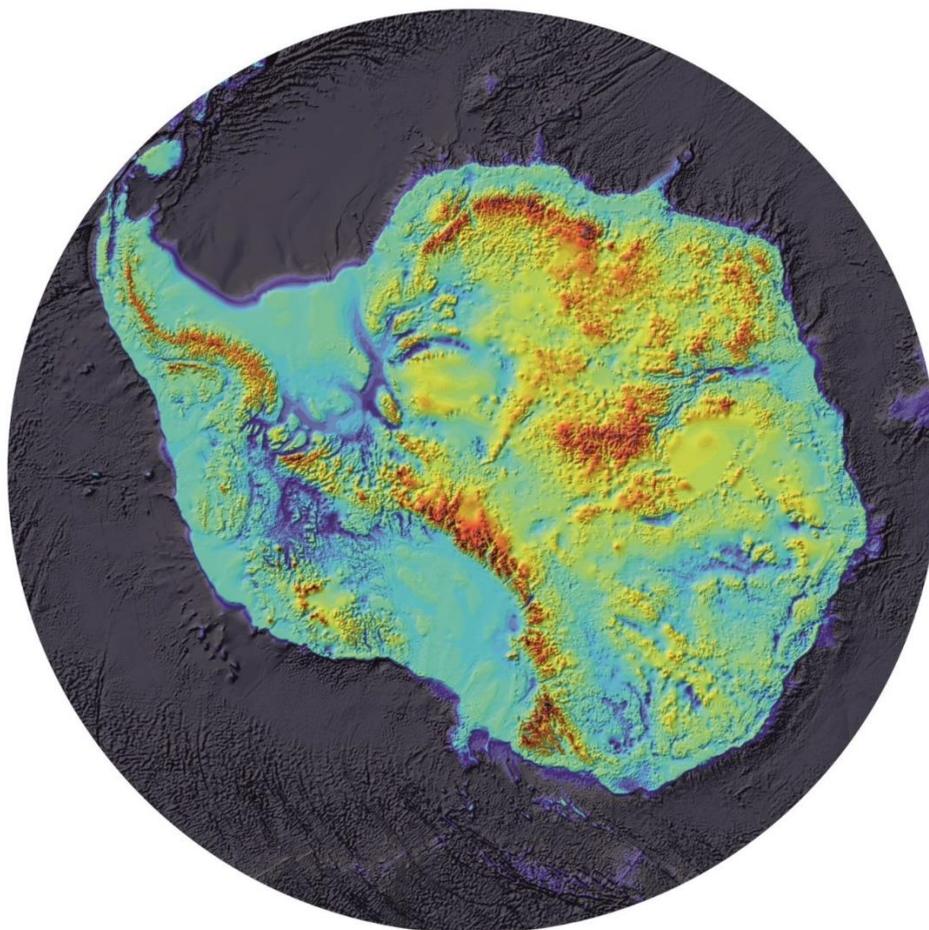


Рис. 1. Карта подледного рельефа Антарктиды [8].

В качестве исходного материала в части исследования линейных тектонических структур использовалась карта подледного рельефа Антарктиды [8]. Методика исследования многократно использовалась одним из авторов для проведения линеаментного анализа как в других регионах Земли, так и в глобальном масштабе [1-4].

На первом этапе методика заключалась в выделении прямолинейных осей хребтов, долин и уступов в виде первичных прямолинейных отрезков с последующим объединением цепей таких отрезков, выстраивающихся в более длинные линеаменты.

На втором этапе производились замеры азимутов и длин первичных линий с занесением данных в таблицу EXCEL с построением розы-диаграммы направленности линейных форм подледного рельефа Антарктиды.

Разумеется, измерение азимутов линейных объектов в полярной зоне имеет свою специфику – авторам постоянно приходилось делать поправки и допущения для измеряемых углов в условиях, сходящихся в точке Южного полюса меридианов. При этом в случаях измерения азимутов линий значительной длины в приполюсном районе возникали неизбежные искажения, которые необходимо было минимизировать разбиением длинной линии на отдельные отрезки с отдельными замерами азимутов, или принятием усредненных значений азимутов.

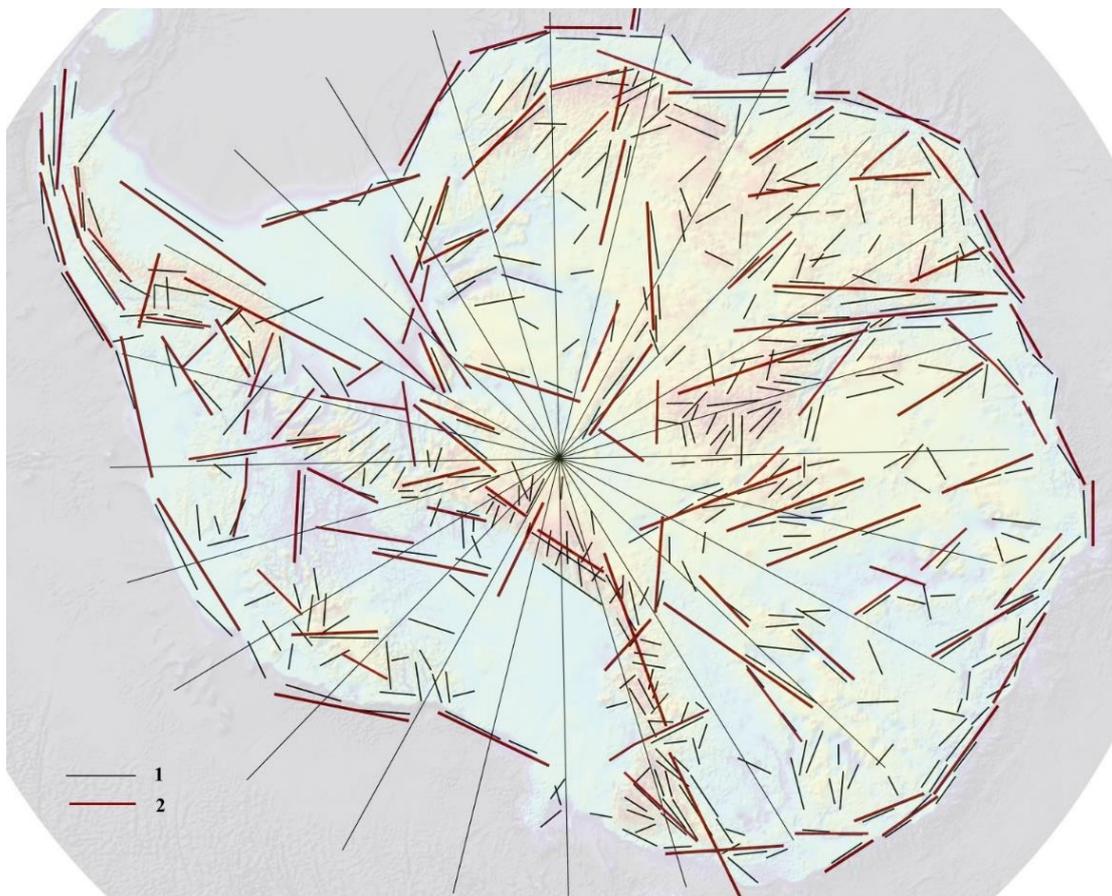


Рис. 2. Выделение первичных линий (1) и линеаментов (2) на карте подледного рельефа Антарктиды.

Результаты и обсуждение

На схеме линеаментов Антарктиды (рис. 2) можно видеть общий рисунок линейных форм рельефа материка. Несмотря на видимую хаотичность направлений первичных линий вдоль их однонаправленных цепочек можно выделить более протяженные линеаменты, в нескольких случаях пересекающие весь континент.

На розе-диаграмме направленности линейных форм подледного рельефа Антарктиды (рис. 3) выделяется ряд лучей, образованных видимыми системами направленности линейных форм, причем по представительности системы могут быть подразделены на главные и второстепенные. Можно выделить следующие главные системы: субмеридиональную $356-20^\circ$ с пиками $356-360^\circ$, $0-5^\circ$, $16-20^\circ$; северо-восточную $41-50^\circ$; субширотную $86-90^\circ$; юго-восточную $121-140^\circ$ с пиками $121-125^\circ$, $136-140^\circ$. Кроме того, выделяются несколько второстепенных систем: $31-35^\circ$, $66-70^\circ$, $146-150^\circ$.

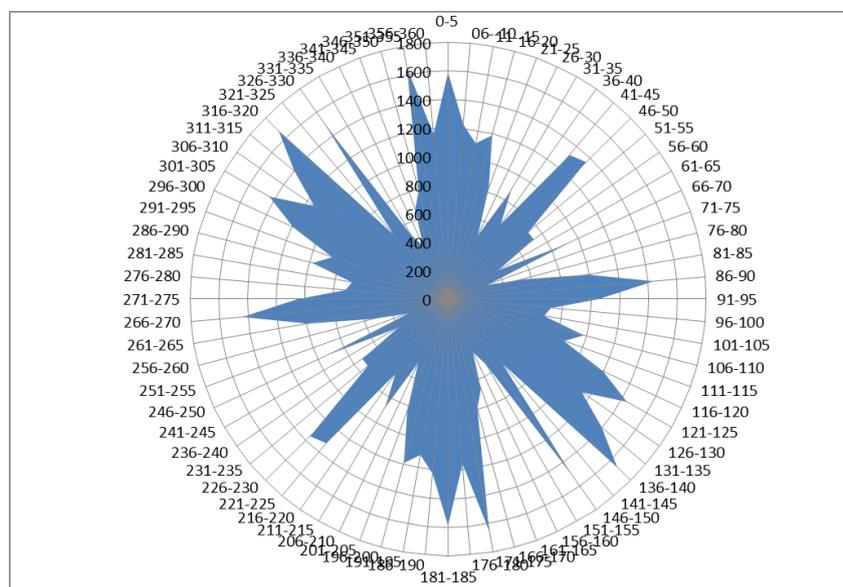


Рис. 3. Роза-диаграмма направленности линейных форм подледного рельефа Антарктиды (первичные линии).

На схеме линеаментов видно, что субширотную систему образуют в основном линеаменты, соответствующие уступам, связанным с континентальным склоном, более, или менее концентрическим по отношению к Южному полюсу. Меридиональная система составлена в основном протяженными линеаментами, которые зачастую можно проследить через весь материк от берега к берегу, и проходящими в нескольких случаях через приполюсную зону. Линеаменты диагональных направлений имеют место на всей площади материка, в основном являясь секущими по отношению к меридиональным линеаментам и линеаментам других направлений.

Главные системы направлений отражают общие пространственные тенденции рельефообразования антарктического материка, явно связанные с развитием сети тектонических разломов.

Нельзя не заметить явное соответствие наиболее значимых лучей главных систем 0-5°, 41-45°, 86-90° и 136-140° направлениям систем планетарной трещиноватости (регматической сети), соответственно меридиональной, диагональной СВ, широтной, диагональной ЮВ [1, 2]. Это говорит о существенном влиянии на тектонику Антарктиды общеглобальных тектонических процессов, в том числе глобального регмагенеза.

Второстепенные системы, по-видимому, свидетельствуют о наличии в структуре линеаментно-дизъюнктивной сети Антарктиды собственных региональных тенденций.

Заключение

В результате применения линеаментного анализа при изучении линейных форм подледного рельефа Антарктиды выявлено, что цепи первичных линий рельефа довольно часто образуют протяженные линеаменты, пересекающие антарктический материк.

Общая направленность линейных форм подледного рельефа Антарктиды в основном подчинена четырем главным направлениям: 356-20°, северо-восточную 41-50°; субширотную 86-90°; юго-восточную 121-140°. Кроме того, выделяются несколько второстепенных систем: 31-35°, 66-70°, 146-150°.

Выявлено явное соответствие наиболее значимых лучей главных систем 0-5°, 41-45°, 86-90° и 136-140° направлениям систем планетарной трещиноватости (регматической сети), соответственно меридиональной, диагональной СВ, широтной, диагональной ЮВ [1, 2]. Это говорит о существенном влиянии на тектонику Антарктиды общеглобальных тектонических процессов, в том числе глобального регмагенеза.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке государственного задания Министерства просвещения России №VRFY-2023-0010

Литература

- [1] *Анохин В.М.* Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. С-Пб.: Недра, 2006. 161 с.
- [2] *Анохин В.М.* Строение планетарной линеаментной сети. LAP LAMBERT Academic Publishing, GmbH & Co. KG. Saarbrücken, Germany, 2011. 247 с.
- [3] *Анохин В.М., Маслов Л.А.* Закономерности направленности линеаментов и разломов дна Российской части Японского моря // Тихоокеанская геология. 2009, №2. С. 3-16.
- [4] *Анохин В.М., Егоров А.Ю., Тюрина А.А., Волкова Д.В.* Опыт проведения регионального линеаментного анализа в группах // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам LXXII Герценовских чтений. СПб., 2019. Т.1. С. 100-107.
- [5] Геоморфологический атлас. Антарктика. Изд-во «Карта», СПб., 2011.
- [6] *Марков К.К., Бардин В.И., Лебедев В.Л. и др.* География Антарктиды. М.: Мысль, 1968. 439 с.

[7] Попов С.В., Лейченко Г.Л., Масолов В.Н., и др. Мощность ледникового покрова и подлёдный рельеф Восточной Антарктиды (результаты исследований по проекту МПГ). В кн. Вклад России в МПГ: Строение и история развития литосферы. ред. Ю.Г. Леонов, М.: Paulsen, 2010, 39-48.

[8] Fretwell and Pritchard *et al.* Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica/ 2013, doi: 10.5194/tc-7-375-2013 <http://www.the-cryosphere.net/7/375/2013/>

[9] Subglacial topography inferred from ice surface terrain analysis reveals a large un-surveyed basin below sea level in East Antarctica. Le Brocq, A. M. and Hubbard, A. and Bentley, M. J. and Bamer, J. L. (2008) 'Subglacial topography inferred from ice surface terrain analysis reveals a large un-surveyed basin below sea level in East Antarctica.', *Geophysical research letters.*, 35 (16). L16503. <https://dro.dur.ac.uk/6008/1/6008.pdf?DDD14+dgg4rjp+d67a9y>

[10] Jamieson, Stewart & Sugden, David. (1988). Landscape evolution of Antarctica. https://www.researchgate.net/publication/47408679_Landscape_evolution_of_Antarctica

S u m m a r y. The authors carried out a lineament analysis of the linear forms of the under-ice relief of Antarctica. The map of the subglacial relief of Antarctica served as the cartographic basis for this. On the map, the axes of rectilinear relief forms were traced - ridges and valleys, as well as the edges of ledges. Both primary relief lines and larger objects - lineaments were identified. After that, the azimuths of the primary lines were measured, as well as their lengths. The measurement results were summarized in a table, on the basis of which a rose-chart of a linear relief was built. On this rose-chart, a number of general regularities in the direction of the linear forms of the relief of Antarctica are distinguished, in particular, a significant correspondence of the directions of these forms to the directions of the main systems of planetary fracturing.

РОДНИКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ

Г.С. Бородулина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, bor6805@yandex.ru

SPRINGS ON THE TERRITORY OF KARELIA

G.S. Borodulina

Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk

Аннотация. Родники являются объектами научного и социального значения. Показаны этапы изучения родникового стока на территории Карелии. Обобщены сведения об изученности, количестве и использовании родников. Дается оценка их состояния в условиях антропогенной нагрузки. Подчеркивается необходимость проведения в регионе работ по инвентаризации, учету и мониторингу состояния подземных источников и созданию современного каталога родников.

Ключевые слова: *подземные воды, родник, сток, химический состав, каталог.*

Введение

Значение родников многогранно: ресурсное, экологическое, научно-просветительское, историко-культурное, рекреационное. Являясь

естественными выходами подземных вод на поверхность земли, родники служили объектами для первых оценок ресурсов подземных вод. В настоящее время само существование родников и изменение состава их вод являются отражением человеческой деятельности.

Объекты и методы

Основным фактическим материалом послужили характеристики родников, приведенные в отчетах по гидрогеологическим съемкам на территории Карелии, опубликованные в монографиях, и результаты исследований лаборатории гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН, проводимых с 1970 г. Аналитические работы выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» по [1].

Обсуждение результатов

Несмотря на огромное количество поверхностных объектов в Карелии, родники издавна повсеместно использовались для водоснабжения. Так в перечне населенных мест Олонецкой губернии за 1905 г. приводятся сведения о многочисленных поселениях «при колодцах» [9]. В топонимах Карелии отражается связь с родниками, например, дер. Пурдега (вепс. *purde* «родник»), дер. Новзима (карел. *nouzeti* «родник»), Кайволамба (*Kaivo* «родниковый колодец») и др.

Первые сведения о подземных водах региона характеризуются эпизодическими исследованиями минеральных вод, и в основном связаны с открытыми в 1714 г. Марциальными водами. Довоенные исследования выполнялись при строительстве Беломоро-Балтийского канала, проектировании гидроэлектростанций, железных дорог, месторождений полезных ископаемых. В 1940 г. составлена карта источников подземных вод по Мурманской области и Карельской АССР. Накопление информации возобновилось в послевоенные годы в ходе комплексных геологических и гидрогеологических съемок. Являясь естественными выходами подземных вод на поверхность земли, родники служили объектами для первых оценок ресурсов подземных вод, для районирования территории по степени обводненности пород и характеристике химического состава вод. Результаты работ были обобщены в монографии «Гидрогеология СССР, том XXVII, Мурманская область и Карельская АССР» [4]. Был составлен каталог родников в качестве приложения к Гидрогеологической карте Карельской АССР условий водоснабжения рассредоточенного населения в особый период [11]. Каталог включал около 1500 источников. Последующие гидрогеологические съемки и исследования лаборатории гидрогеологии Отдела водных проблем КарНЦ позволили уточнить имеющуюся информацию. Несмотря на внесение дополнительных объектов, общее их число к 1990 г. оказалось меньшим (1360), чем в первом каталоге. Это связано с тем, что при съемках нередко в качестве родников фиксировались мелкие ручьи, сток из верховых болот и другие проявления поверхностных вод. Эти водопоявления отличаются от подземных вод очень низкой

минерализацией (менее 20 мг/л), более высокой температурой (8-10°C и выше) и цветностью. Поэтому при формировании современной базы данных продолжается уточнение характеристик и отбраковка объектов первого каталога, а также дополнение данными более поздних гидрогеологических работ на территории Карелии. В настоящее время в ИВПС КарНЦ РАН база данных содержит сведения около 2000 родников.

подавляющая часть территории Карелии входит в состав Балтийского гидрогеологического массива, где подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне кристаллических пород и рыхлым четвертичным отложениям. Родниками дренируется, как правило, верхняя часть водоносных комплексов. Родниковый сток в Карелии невелик, модуль для большей части территории составляет 0,01-0,001 л/сек·км² и менее. Только для 1-6% территории модуль достигает 0,5-0,1 л/сек·км² [4]. Дебиты родников в основном составляют 0,1-0,5 л/сек, редко больше. Большинство родников с дебитом свыше 1 л/с дренируют флювиогляциальные отложения, слагающие волнистые равнины. Они встречаются по всей территории за исключением Прибеломорской низменности. Относительно высокой водообильностью характеризуется онегозерский водоносный горизонт – самый верхний среди межледниковых горизонтов, единственно выдержанный по площади и преимущественно песчаного состава. В долине р. Святрека зафиксированы девять родников, дренирующих этот горизонт, шесть из которых имеют дебит от 1 до 5 л/с, и несколько крупных родников находятся в долине р. Важинки [5]. Высокодебитные (более 10 л/с) родники в Карелии единичны и поэтому вызывают особый интерес. В монографии [8] приведен перечень 27 высокодебитных родников. Некоторые из них хорошо известны, в том числе одни из самых крупных (около 100 л/сек) – Крошнозерский (Пряжинский район). Другие, описанные как высокодебитные источники, иногда на поверку оказываются группой родников [2].

В пределах Балтийского кристаллического массива формируются преимущественно пресные (менее 1 г/л) подземные воды, но известны солоноватые (1-10 г/л) и даже соленые. Пресные подземные воды как правило гидрокарбонатные, но встречаются сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные. Солоноватые воды по составу хлоридные натриевые [3]. Гидрогеологические условия кристаллического щита благоприятствуют быстрому проникновению атмосферных осадков в рыхлые и/или трещиноватые породы. Подземные воды в большинстве случаев насыщены кислородом, содержат небольшое количество органических веществ, мягкие. Обогащение вод углекислым газом биогенного происхождения обеспечивает слабокислую и кислую среду (в среднем рН 6,6), редко встречаются щелочные воды.

Бытует мнение, что родниковая вода всегда чистая. Но воды верхней гидрогеохимической зоны не имеют выдержанного водоупорного горизонта и практически не защищены от загрязнения. Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков, которые на освоенной территории фильтруются через техногенные грунты. Территории поселков и деревень, (да и

в городах существуют районы старой застройки), представляют собой сосредоточие приусадебных участков, огородов, скотных дворов, компостных и выгребных ям, мусорных свалок, которые на протяжении многих лет являются постоянными очагами загрязнения подземных вод. Результаты исследований качества воды нецентрализованных источников водоснабжения по химическим и микробиологическим показателям, выполняемых Роспотребнадзором РК, свидетельствуют о постоянном неудовлетворительном состоянии 20-40% объектов. По нашим данным только каждый десятый родник или колодец в поселениях Карелии не загрязнен нитратами, а в каждом пятом их концентрация превышает допустимую – 45 мг/л [6, 7]. В последнем случае нитрат нередко становится преобладающим анионом, формирует нитратный тип воды.

Результаты мониторинга грунтовых вод на территории г. Петрозаводска показали, что нитратное загрязнение сохраняет постоянную интенсивность [6]. Относительно чистые родники находятся только на окраинах города, где нет источников загрязнения. Еще в 1925 г. газета «Красная Карелия» сообщала, что в г. Петрозаводске все источники водоснабжения «загрязнены и вредны», а в 1940 г. состояние всех приусадебных колодцев города было признано «чрезвычайно неудовлетворительным». Поэтому, когда перед городским Советом встал вопрос о выборе источника централизованного водоснабжения, с учетом роста населения и состояния подземных вод, он был решен в пользу воды Петрозаводской губы [10]. Поэтому и в настоящее время рассматривать родники как источник питьевой воды на территории поселений не следует. Они могут служить ландшафтными образованиями, могут быть включены в архитектурные проекты, композиции и т.д. В городах Европы родники благоустраивают, оформляют, сохраняют милый уголок природы, но пить из них никому не приходит в голову. В Петрозаводске за последние годы в результате застройки исчезли популярные родники по ул. Белинского, Муезерской, родник «Лягушка» и др. Недалеко от школы №17 существовал Неглинский родник, в начале XIX в., удовлетворявший потребность в воде большую часть города. Сейчас слабый выход подземных вод, дающий начало ручейку, впадающему в р. Неглинку, наблюдается в придорожной канаве, а мог бы быть памятником природы и истории города.

Согласно Водного кодекса РФ родники являются поверхностными водными объектами, мониторинг которых ведет Росводресурсы. Подземным водным объектом считаются водоносные горизонты и бассейны подземных вод, изучение и использование которых обеспечивает Роснедра. Если рассматривать родники как источник водоснабжения, то контролировать их должен Роспотребнадзор. На деле родники в настоящее время не контролируются государственными службами, не охвачены мониторингом, они «...выпали из законодательного поля». Надежда на исправление положения дел появилась в апреле 2021 г., когда рабочая группа общественного совета Министерства природных ресурсов РФ провела круглый стол, посвященный защите родников как водных объектов, и сформулировала рекомендации для реализации

программы по инвентаризации, учету и мониторингу состояния родников на территории субъектов РФ, а также выявлению родников социальной значимости.

В Карелии после 70-х гг. прошлого века проектов по обследованию родников не было. Исследования на территории Петрозаводска, периодически поддерживаются администрацией Петрозаводска (в частности, в 2012 г. по подготовке информационных материалов о состоянии родников на территории города). Исследования продолжены в 2012-2015 гг. в рамках проекта РФФИ «Разработка основ комплексного геоэкологического мониторинга северных урбанизированных территорий» [6]. Известны редкие примеры ухода и обустройства отдельных родников: ученики Великогубской школы в 2001 г. благоустроили территорию у родника Соляная яма, Соломенский лесозавод реконструировал в 2021 г. павильон на Сулажгорском роднике (Петрозаводск). Единственная категория родников, число которых известно – это объекты, относящиеся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ). К региональным гидрологическим памятникам природы отнесены всего 6 родников (Три Ивана, Соляная Яма, Крошнозерский, Лососинский, Сулажгорский, Онежский), статус государственного природного заказника имеет озеро-родник Талое. В то же время статуса памятников природы заслуживают многие другие объекты региона, обладающие уникальными качественными и количественными характеристиками и имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение.

Выводы

Многолетние исследования подземных вод, зачастую благодаря изучению родникового стока, позволили охарактеризовать гидрогеологические условия региона, оценить особенности формирования химического состава подземных вод и показать высокую степень подверженности их к загрязнению на территории населенных пунктов.

В Карелии встречается большое количество как типичных, так и уникальных родников, которые могут рассматриваться как гидроминеральные ресурсы или объекты научного, экологического и культурно-познавательного туризма.

Лишь 7 родников в регионе имеют статус ООПТ, хотя его заслуживают и другие родники, имеющие природоохранную и социально-экономическую ценность. Необходимы исследования по инвентаризации, учету и мониторингу состояния родников, созданию современного их каталога. Также необходима популяризация научных знаний о подземных водах как важной части круговорота воды, тесно связанной с окружающей средой.

Литература

[1] Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 270 с.

- [2] *Бородулина Г.С.* Родники Карелии – природные объекты научного и социального значения // *Российский журнал прикладной экологии*. 2022, № 4. С. 53-65. doi:10.24852/2411-7374.2022.4.53.65
- [3] *Бородулина Г.С., Левичев М.А.* Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии // *Горный журнал*. 2019. №3. С. 71-75. doi: 10.17580/gzh.2019.03.14
- [4] *Гидрогеология СССР*. Т. XXVII. Мурманская область и Карельская АССР. М.: Недра, 1971. 295 с.
- [5] *Иешина А.В., Поленов И.К., Богачев М.А., Теруков В.С., Логинова Л.Ф., Перская Е.А., Бородулина Г.С.* Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1987. 151 с.
- [6] *Крутских Н.В., Бородулина Г.С., Казнина Н.М., Батова Ю.В., Рязанцев П.А., Ахметова Г.В., Новиков С.Г., Кравченко И.Ю.* Геоэкологические основы организации мониторинга северных урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводска) // *Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Экологические исследования*. 2016. №12. С. 52-67. doi: 10.17076/есо361
- [7] *Лозовик П.А., Бородулина Г.С.* Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // *Водные ресурсы*. 2009. Т. 36, №6. С. 694-704.
- [8] *Минерально-сырьевая база Республики Карелия*. Кн. 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. 355 с.
- [9] *Список населенных мест Олонецкой губернии по сведениям за 1905 год* // *Олонецкий губернский статистический комитет*. Петрозаводск: Олонецкая губ. тип., 1907. 326 с.
- [10] *Старцев Н.С.* Примечательные родники Петрозаводска // *Краевед. 10 лет*. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та, 1999. С. 94-97.
- [11] *Шимкович Н.Ф.* Гидрогеологическая карта СССР условий водоснабжения рассредоточенного населения в особый период. Карельская АССР. Т. II, кн. 3. Л.: Недра, 1970.

S u m m a r y. Springs are objects of scientific and social significance. The stages of the study of springs on the territory of Karelia are shown. Information about the study, number and use of springs is summarized. An assessment of their condition under the conditions of anthropogenic load is given. It emphasizes the need to carry out work in the region on the inventory, accounting and monitoring of the state of groundwater sources and the compilation of a modern catalog of springs.

СТРУКТУРА БАССЕЙНА РЕКИ КАШМА В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО МОРФОПОКАЗАТЕЛЯМ РЕЛЬЕФА

Д.В. Власова, К.А. Кузьмин, С.В. Панков

ТГУ имени Г.Р. Державина, г. Тамбов,

d1vlasova.dv@gmail.com, ka_kuzmin@mail.ru, psv69tmb@mail.ru

STRUCTURE OF THE KASHMA RIVER BASIN IN THE TAMBOV REGION ACCORDING TO MORPHOMETRIC INDICATORS OF RELIEF

D.V. Vlasova, K.A. Kuzmin, S.V. Pankov

Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov

Аннотация. В данной статье представлены результаты анализа морфометрических показателей рельефа бассейна реки Кашма. Были изучены 14 водосборов площадью более 50 км² при помощи цифровой модели рельефа. Для расчета исследуемых параметров была проведена работа в ГИС-программе MapInfo. Данное исследование необходимо для планирования хозяйственной деятельности и проведения почвоохранных мероприятий.

Ключевые слова: речной бассейн, река Кашма, бассейн Цны, морфометрические показатели, цифровая модель рельефа (ЦМР), Тамбовская область.

Введение

В результате увеличения производства сельскохозяйственного комплекса, наблюдается восходящая тенденция эрозийных процессов, протекающих в поверхностном слое педосферы, а также происходит уменьшение естественных экосистем и замена их на искусственные [2]. Итогом наблюдаемых изменений является деградация рельефа бассейнов рек, происходящая при распашке склонов и пойм водных объектов [5]. Данный факт повышает актуальность задач современных наук о Земле, таких как исследование водной и земельной ресурсообеспеченностей при их экологическом мониторинге.

Еще одной проблемой является безвозвратная потеря пресной воды, используемой в сельском хозяйстве на орошаемое земледелие, а также привнесение в водные объекты загрязняющих веществ. Два этих факта негативно сказываются на состоянии биоценоза и биосферы в целом.

Для улучшения экологической обстановки, необходима рационализация использования различных сельскохозяйственных территорий, находящихся на речном водосборе, путем учета показателей рельефа [3].

Объекты и методы

Для исследования был выбран бассейн реки Кашма в пределах Тамбовской области. Река Кашма является правым притоком реки Цна Волжского бассейна. Берет свое начало юго-восточнее села Осино-Гай. Далее она продолжает свое течение на северо-северо-запад по Пичаевскому и Моршанскому районам. Длина реки составляет 121 км, а площадь водосбора – 2435 км². Глубина реки колеблется от 0,5 м до 2-3 м. Врез долины реки в верховье достигает 50 м. Правая береговая линия характеризуется крутым склоном, в то время как левый – террасирован [4].

В процессе исследования и при подготовке иллюстрированного материала использовались топографические карты крупного масштаба, ГИС MapInfo, программа для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, графический редактор векторной графики CorelDRAW.

В настоящей работе проведён анализ морфометрических показателей рельефа бассейна реки Кашма в пределах территории Тамбовской области.

Задачами данного исследования являются: 1. Построение ЦМР бассейна реки Кашма, включающую речную сеть и водоразделы. 2. Расчет и анализ основных характеристик для водосборов с площадью более 50 км².

В основе исследования лежат данные, полученные ранее при реализации проекта по инвентаризации водотоков Тамбовской области [1, 6, 7].

Обсуждение результатов

В таблице 1 представлены результаты произведенных расчетов исследуемых характеристик в бассейне реки Кашма.

Таблица 1. Результаты расчёта морфометрических характеристик рельефа водосборов с площадью более 50 км² в бассейне реки Кашма

Водоток	Перепад высот, м	Падение реки, м	Средний уклон водотока		Средний уклон склонов водосбора	
			‰	см/км	‰	°
Кашма	117	81	0,67	67,01	17,07	1
Гольш	61	54	2,98	297,52	21,03	1,2
Рудовка	66	59	3,7	369,91	26,3	1,5
Вышенка	77	69	2,3	230	27,46	1,6
Красивка	57	49	2,37	236,83	25,22	1,4
Пичаевка	83	61	2,31	231,24	26,02	1,5
Песчанка	58	41	3,73	372,73	25,41	1,5
Шача	71	63	2,45	245,42	11,79	0,7
Бол. Ломовис	107	84	0,71	71,27	20,57	1,2
Ломовис	67	55	1,98	198,2	21,54	1,2
Ольшанка	56	39	2,63	262,8	21,59	1,2
Мал. Ломовис	90	80	1,13	113,25	23,49	1,3
Рожки	57	44	2,85	284,79	18,69	1,1
Вязка	98	57	2,81	280,79	13,48	0,8

Как видно из таблицы, в бассейне реки Кашма средние уклоны русел колеблются от 67 до 373 см/км. Средние уклоны склонов водосборов составили от 0,7° до 1,6°. Наибольшую крутизну склонов водосбора имеет реки Рудовка и Вышенка, а наименьшую – река Шача. Перепад высот на водосборах составил в среднем 76 метров. Наивысшей точкой бассейна реки Кашма является отметка, равная 217 метрам, расположенная в юго-юго-восточной части водосбора.

На рисунке 1 показана гипсометрическая карта бассейна реки Кашма. Шаг высотных ступеней составляет 20 метров, что соответствует сечению рельефа на топографических картах масштаба 1 : 200000.

Выводы

По итогам работы в бассейне реки Кашма была создана ЦМР, которая детализована для морфометрического анализа водосборов 2-4 порядка в количестве 13 притоков. Для каждого из этих притоков был рассчитан комплекс морфометрических показателей.

Результаты данного исследования могут применяться на практике, как землепользователями, так и природоохранными организациями. Значения анализа морфометрических показателей могут использоваться для модернизации сельского хозяйства и рационального природопользования. Кроме того, полученные данные могут быть применены при производстве расчетов обеспечения водными ресурсами близлежащих населенных пунктов. А

показатели уклона территории должны учитываться для достижения оптимального расположения сельскохозяйственных территорий в пределах данного водосбора для обеспечения уменьшения смыва плодородных слоев почвы в водные объекты, и как следствие – увеличения загрязнения русел этих объектов.

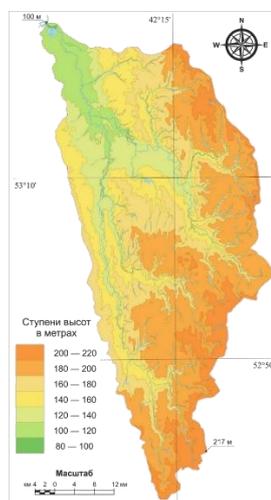


Рис. 1. Гипсометрическая карта бассейна реки Кашма.

Литература

- [1] Буковский М.Е., Чернова М.А., Семенова А.В., Лопатин Д.В. База данных «Реки Тамбовской области. Окский бассейн» Свидетельство о регистрации базы данных 2021621915, 09.09.2021. Заявка № 2021621845 от 07.09.2021.
- [2] Гидрология рек: учебное пособие/ И.А. Уразметов; под ред. проф. И.Т. Гайсина. Казань, 2007. 95 с.
- [3] Гидрология: Учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. 2-е изд. испр. М.: Высш. шк., 2007. 463 с.
- [4] Реки Тамбовской области. Каталог /под. ред. проф. Н.И. Дудника. Тамбов, 1991. 47 с.
- [5] Русловые процессы (русловедение): учебное пособие / Р.С. Чалов. М.: ИНФРА-М, 2016. 565 с.
- [6] Чернова М.А., Буковский М.Е. Уточнение количества и параметров поверхностных водотоков в бассейне реки Воронеж // Территориальная организация общества и управление в регионах: материалы XIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. С. 118-122.
- [7] Чернова М.А., Дудник С.Н., Буковский М.Е. Изменчивость водного режима рек донского бассейна // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 3. С. 40-48.

S u m m a r y. This article presents the results of the analysis of morphometric indicators of the relief of the Kashma River basin. 14 catchments with an area of more than 50 km² were studied using a digital relief model. To calculate the studied parameters, work was carried out in the MapInfo GIS program. This study is necessary for planning economic activities and conducting soil conservation measures.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ 2016-2023 ГГ.

А.А. Воеводина, Д. И. Желнова, А.М. Алейникова
Российский университет дружбы народов, Москва
Институт экологии РУДН, Москва, annaanastasija.tavak@gmail.com

DYNAMICS OF LEVEL CHANGES IN THE CASPIAN SEA 2016-2023

A.A. Voevodin, D.I. Zhelnova, A.M. Aleinikov
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow
Institute of Ecology RUDN University, Moscow

Аннотация. Настоящая статья посвящена изучению динамики уровня Каспия за 2016-2023 гг. различными методами (статистическим гидрологическим, полевым, дешифрированием, опрос местного населения). За 2016-2023 гг. происходит понижение уровня Каспия. Это фиксируется на космических снимках, полевыми исследованиями (в районе исследования береговая линия моря отошла на 20 м), опросом местного населения. По данным водомерных постов, в последние 4 года происходит понижение уровня, а также большинство значений 2019 года попадают под абсолютный минимум за последние 12 лет. В открытой части моря за 2019 год наблюдаются также в среднем низкие дневные значения уровня моря по сравнению с другими рассматриваемыми годами за весь период 2018-2020 гг. Только на гидропосту Бекташ в сентябре отмечено резкое понижение уровня воды на 62 сантиметра.

Ключевые слова: Каспийское море-озеро, изменение уровня, водомерный пост, береговая линия.

Введение

Изучению изменения уровня Каспийского моря посвящено множество научных трудов [1, 3-5]. Помимо научного значения, изучение вариаций уровня Каспия представляет собой также важную хозяйственную задачу. Целью настоящей статьи явилось изучение динамики уровня Каспия за 2016-2023 гг. В задачи работы входило изучение уровня озера различными методами (статистическим гидрологическим, полевым, дешифрированием, опрос местного населения).

Объекты и методы

Объектом исследования явился уровень Каспийского моря за последние 5 лет. Основными методами исследования явились статистическая обработка данных гидропостов на реках (данные взяты с сайтов AllRivers и ЕСИМО) [6-7], полевые физико-географические описания, дешифрирование космических снимков, опрос местного населения. Обработка материалов основывалась на методике изучения нестационарных процессов [2], одним из действий, которой является спектрально-временной анализ.

Обсуждение результатов

Ещё сто лет назад уровень Каспийского моря-озера был на 2 м выше нынешнего. На колебания уровня оказывают влияние многие факторы: гидроклиматические процессы, тектонические процессы и антропогенное воздействие. Большая часть воды поступает в море из рек. Наблюдения показывают, что изменение могут происходить очень быстро. С 2005 года уровень ежегодно снижается на 10 см. По данным опроса местного населения,

резкий подъем уровня моря наблюдался в середине 1970-х годов прошлого века, после этого наблюдалось только понижение уровня. На основании полевых физико-географических описаний и дешифрировании космических снимков, можно сказать, что береговая линия Каспийского моря-озера на территории Сулакского национального парка отошла в среднем на 20 м. Изменение уровня Каспия фиксируется серией морских террас, которые прослеживаются повсеместно на большом расстоянии от берега.

Для изучения многолетнего изменения уровня моря были выбраны четыре водомерных поста, которые расположены на разных побережьях Каспия: Махачкала Даг. ЦГМС – на западном побережье, остров Тюлений – на северо-западном побережье, платформа Бекташ – на восточном побережье и Актау – на северо-восточном побережье. Также проведена оценка уровня воды в районе пгт Сулак Республики Дагестан за каждый день в определённые месяцы 2016-2019 гг. и в окончании материковой части ВКК 151 км за 2018-2020 гг. и проведен сравнительный анализ полученных данных.

Для каждого поста были рассмотрены временные ряды для всего интервала инструментальных наблюдений за последний год. Все данные приведены к единому нулю поста Каспийского моря (–28.00 м относительно нуля Кронштадтского футштока, Балтийская система высот).

Кривые изменения среднемесячных значений уровня воды на различных постах очень схожи между собой, кроме графика по данным с поста Бекташ (рис. 1). В период с января по июль временные ряды характеризуются положительным плавным линейным трендом, который затем становится отрицательным до октября-ноября и потом снова прослеживается плавный рост графика. Только на гидропосту Бекташ в сентябре отмечено резкое понижение уровня воды на 62 сантиметра.

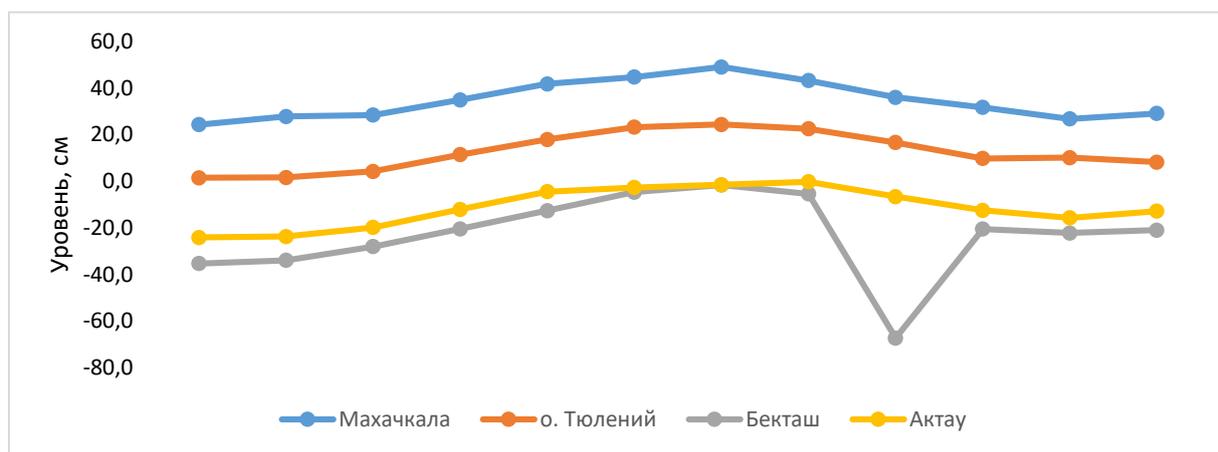


Рис. 1. Среднемесячные значения уровня Каспийского моря по данным водомерных постов: Махачкала, о. Тюлений, Актау, Бекташ за 2022 год.

По графику на рисунке 6 видно, что уровень моря на посту Бекташ значительно ниже, чем на других постах. А аномалия с резким понижением уровня воды в сентябре может определяться сгонно-нагонной циркуляцией ветров. Также на данные с гидропоста мог повлиять человеческий фактор или

сбой гидрометеорологической службы, вследствие чего качество проведения наблюдений на данном посту, по-видимому, явилось ошибочным.

Также были рассчитаны коэффициенты корреляции (КК) между рядами среднемесячных значений уровня, которые оказались очень высокими, если сравнивали корреляцию между пунктами на западном побережье и пунктами, расположенными в северной части Каспийского моря: 0.95 между Гидропостами Махачкала и о. Тюлений и 0.979 между о. Тюлений и Актау соответственно. Данные по корреляции с восточного побережья и центральной части моря дают слабые показатели: 0.46 между гидропостами Актау и Бекташ и 0.54 между пунктами Бекташ и Махачкала соответственно. Данные зависимости в корреляции позволяют говорить о различии локальных процессах, протекающих на разных побережьях и в разных частях Каспия – северном и южном, что можно сказать, что эта зависимость ослабевает в направлении с северо-запада на юго-восток. Данная зависимость и распределение можно подчинить закону о силе Кориолиса, однако это лишь данные наблюдения за один год, чтобы дать более точную оценку стоит оценить данные за несколько лет.

Уровень среднесуточных колебаний на двух станциях по данным за 2016-2019 гг. для станции расположенной в устье реки Сулак, впадающей в Каспийское море и по данным за 2018-2020 гг. для станции в окончании материковой части ВКК 151 км показан на рисунках (рис. 2 и 3). По данным рисунка, мы видим, что в последние 4 года происходит понижение уровня, а также большинство значений 2019 года попадают под абсолютный минимум за последние 12 лет. По данным с гидропоста в открытой части моря (рис. 3) за 2019 год наблюдаются также в среднем низкие дневные значения уровня моря по сравнению с другими рассматриваемыми годами за весь период 2018-2020 гг. Полученные значения во многом зависят от климатических условий, а именно от температуры, потому что 2019 год считается самым аномально тёплым годом этого века. Но нельзя сказать, что в данный период происходит сильное понижение Каспийского моря только из-за увеличения температур.



Рис. 2. Среднесуточные значения уровня устья реки Сулак по данным с гидропостов за 2016(голубой), 2017 (серый), 2018 (красный), 2019 (синий) года, и диапазон абсолютных минимумов и максимумов уровня реки за последние 12 лет.

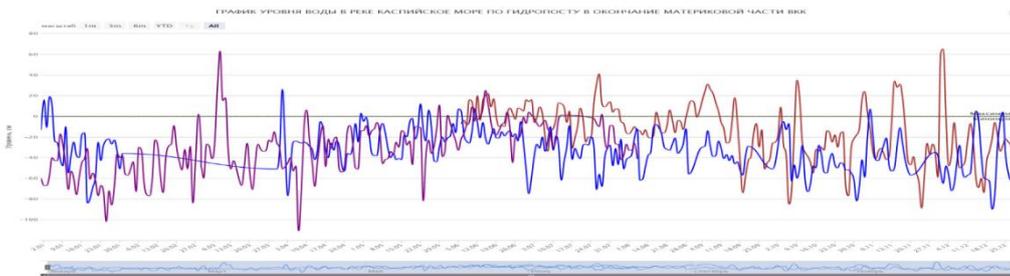


Рис. 3. Среднесуточные значения уровня Каспийского моря по данным с гидропоста за 2018 (красный), 2019 (синий), 2020 (фиолетовый) годы.

Заключение

За 2016-2023 гг. происходит понижение уровня Каспия. Это фиксируется на космических снимках, полевыми исследованиями (в районе исследования береговая линия моря отошла на 20 м), опросом местного населения. По данным водомерных постов, в последние 4 года происходит понижение уровня, а также большинство значений 2019 года попадают под абсолютный минимум за последние 12 лет. В открытой части моря за 2019 год наблюдаются также в среднем низкие дневные значения уровня моря по сравнению с другими рассматриваемыми годами за весь период 2018-2020 гг. В период с января по июль временные ряды характеризуются положительным плавным линейным трендом, который затем становится отрицательным до октября-ноября и потом снова прослеживается плавный рост графика. Только на гидропосту Бекташ в сентябре отмечено резкое понижение уровня воды на 62 сантиметра.

Литература

- [1] Алиев А.С., Мансимов М.Р., Мамедов Р.М. Колебания уровня и социально-экономические проблемы прибрежной зоны Каспийского моря // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, 1999. № 2. С. 110-112.
- [2] Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. М.: Янус-К, 2002. 652 с.
- [4] Терзиев Ф.С., Никонова Р.Е. Некоторые итоги изучения современного состояния гидрометеорологического режима Каспийского моря и перспективы дальнейших исследований // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. С. 239-253.
- [6] <https://allrivers.info/gauge/sulak-sulak/waterlevel>
- [7] http://esimo.oceanography.ru/esp1/index.php?sea_code=2§ion=6&menu_code=846

S u m m a r y. This article is devoted to studying the dynamics of the Caspian Sea level for 2016-2023. various methods (statistical hydrological, field, interpretation, survey of the local population). For 2016-2023 there is a decrease in the level of the Caspian Sea. This is fixed on satellite images, field studies (in the study area, the coastline of the sea receded by 20 m), and a survey of the local population. According to water gauges, in the last 4 years there has been a decrease in the level, and most of the values of 2019 fall under the absolute minimum over the past 12 years. In the open part of the sea for 2019, average daily values of the sea level are also observed in comparison with other years under consideration for the entire period of 2018-2020. Only at the Bektash gauging station in September there was a sharp drop in the water level by 62 cm.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ДЮННОГО МАССИВА НА ЛЕВОБЕРЕЖЬЕ РЕКИ ШОЙНЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.Д. Вяткин

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, egrvyatkin@gmail.com

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF A DUNE MASSIF ON THE LEFT BANK OF THE SHOYNA RIVER ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

E.D. Vyatkin

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. По разновременным данным дистанционного зондирования детально изучена динамика площади дюнного массива на левом берегу р. Шойны с 1976 по 2022 годы. Установлено, что площадь массива начала стабильно сокращаться с 1995 года и к 2022 году уменьшилась со 145 до 91,5 га. Также установлено, что смещение гряд дюнного массива с 1976 по 2022 год происходило на юго-восток и суммарно составило от 140 до 170 метров.

Ключевые слова: эоловые процессы, дюны, Белое море, Шойна, дистанционное зондирование.

Введение

Порядка 30% берегов мирового океана, свободного ото льда, занимают эоловые формы рельефа – дюны [7]. Их динамика различна и зависит от преобладающих эффективных ветров, доступности песчаного материала для питания и может меняться со временем [2]. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют анализировать морфометрические показатели форм рельефа, а использование разновременных данных позволяет оценивать их динамику [5].

Приморские дюны на левобережье реки Шойны в настоящее время проявляют заметную активность и вызывают беспокойство жителей села Шойна, которые сталкиваются с тем, что ветропесчаные наносы наступают на поселок и засыпают дома и дороги. Также распространено мнение, что дюнный массив увеличивается в последние годы [6].

Цель исследования: оценка изменения динамики дюнного массива на левом берегу р. Шойна по разновременным данным дистанционного зондирования. *Задачи:* 1. Подбор разновременных данных дистанционного зондирования. 2. Выявление дюнных гряд на выбранных снимках. 3. Оценка смещения и изменения площади дюнного массива.

Методика и материалы

Для детального изучения динамики были подобраны разновременные космические снимки, сделанные в летний сезон, когда пески дюнного массива хорошо видны и выделяются на фоне окружающего ландшафта, а также построен ортофотоплан по результатам съемки беспилотным летательным аппаратом DJI Mini-2 в ходе экспедиции в июле 2022 года [1, 4]. Снимки Landsat и КН-9 были получены с сайта Геологической службы США [10], а снимки высокого разрешения Maxar и CNES Airbus через Google Earth [9].

Для выявления сухих песков дюн на мультиспектральных снимках существует методика Sand Dunes Index [8], однако в случае с рассматриваемым дюнным массивом она оказалась неэффективна, так как по ней проблематично

выделить границы дюнных гряд. Поскольку имеющиеся данные имеют различное происхождение, то оптимальным был выбран способ визуального выявления дюн на каждом снимке. За дюны принимались яркие пески, не покрытые растительностью и имеющие оформленную структуру. Также бралась во внимание отбрасываемая грядами тень.

На ортофотоплане, снимках КН-9, Махар и CNES Airbus благодаря высокому разрешению яркие пески, не покрытые растительностью, видны отчетливо и идентифицируются как дюны.

Для выявления гряд дюн на снимках Landsat 5 и 7 была применена комбинация каналов 7-5-4 и увеличен контраст, так как в этом случае яркие пески наиболее хорошо различимы (рис. 1).

Недостатком такого метода является то, что возможны погрешности в виду того, что выделение дюн происходит субъективно. Поскольку снимки Landsat 5 и Landsat 7 имеют относительно низкое разрешение 30 м и 15 м соответственно, четкое выявление границ дюн на них проблематично и имеет большую погрешность, чем у снимков с высоким разрешением [3]. Сказывается также угол падения солнечных лучей, подсвечивающих и затеняющих гряды дюн – чем меньше угол, тем отчетливее видны дюны.

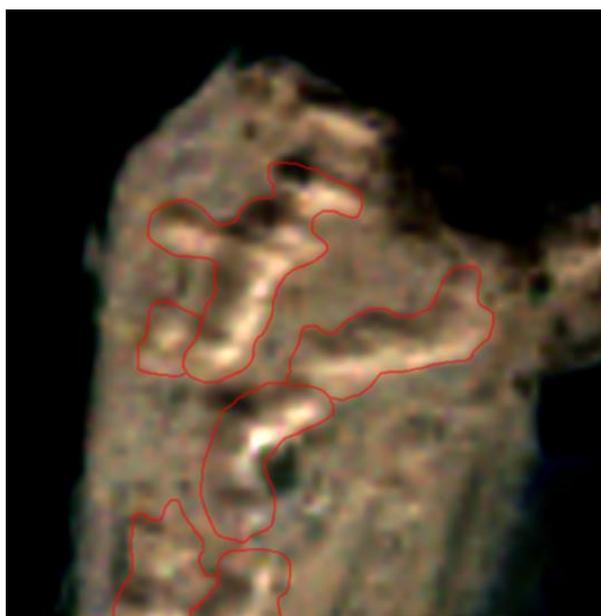


Рис. 1. Выделение гряд дюн на снимке Landsat 5.

Результаты

В результате для анализа была собрана серия из 9 спутниковых снимков и одного ортофотоплана. Временные промежутки между съемками получились от 3-х до 9 лет.

Таблица 1. Собранные данные ДЗЗ

Дата съемки	Источник съемки	Разрешение (метров на пиксель)	Тип снимка
19.07.1976	КН-9	0,9	Монохромный

24.07.1985	Landsat 5	30	Мультиспектральный
06.07.1990	Landsat 5	30	Мультиспектральный
06.07.1995	Landsat 5	30	Мультиспектральный
31.05.2000	Landsat 7	15	Мультиспектральный
09.07.2003	Maxar	1	Цветной
07.07.2010	Landsat 7	15	Мультиспектральный
12.06.2015	Maxar	1	Цветной
07.08.2019	CNES Airbus	1	Цветной
08-19.07.2022	DJI Mini2	0,05	Цветной

На каждом из 10 снимков были выделены гряды дюн. У выявленных дюнных гряд с помощью инструментов ArcGIS Pro была посчитана суммарная площадь в гектарах и построен график изменения их площади.

Таблица 2. Площадь дюнных гряд в гектарах

Год	Площадь, га	Изменение, га	Изменение, %
1976	128,3		
1985	142	+13,7	+10
1990	135	-7	-5
1995	145	+10	+7
2000	137,4	-7,6	-6
2003	126,3	-11,1	-9
2010	117,4	-8,9	-8
2015	110,2	-7,2	-7
2019	97,9	-12,3	-13
2022	91,5	-6,4	-7
Всего		-36,8	-29%

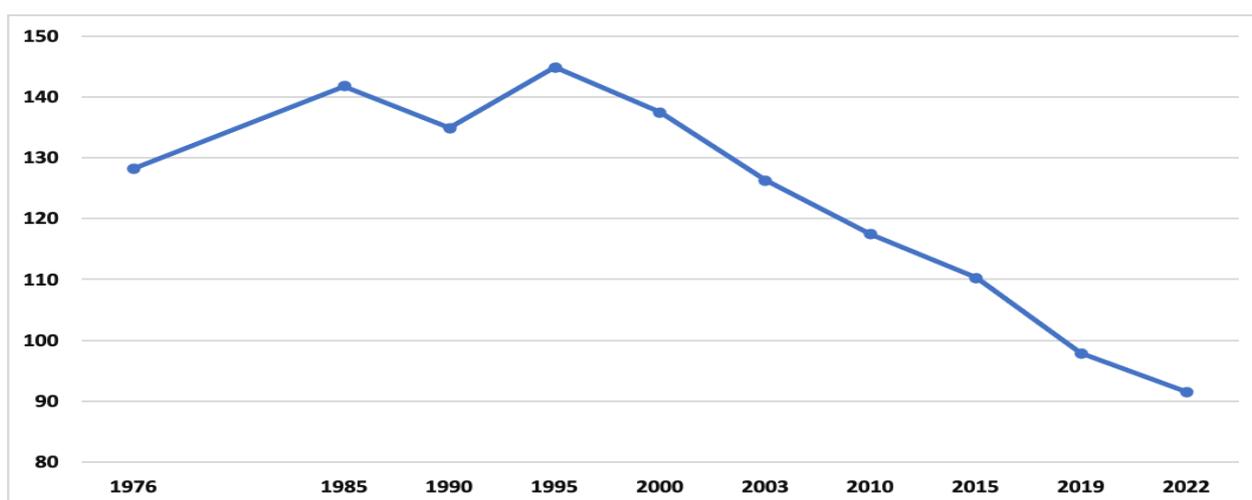


Рис. 2. Динамика площади дюнного массива в гектарах с 1976 по 2022 гг.

По полученным результатам видно, что с 1976 по 1995 годы площадь массива увеличилась почти на 17 га, а с 1995 по 2022 стабильно сокращалась, уменьшившись на 54 га – со 145 до 91,5, что составляет 37%.

При визуальной оценке смещения контуров дюнных гряд путем сравнения их между собой видно, что гряды смещались в сторону юго-востока за каждый временной промежуток. Поскольку снимки Landsat 5 с 1985 по 1995 гг. имеют разрешение в 30 м, численно оценивать смещение по ним некорректно, так как возникает большая погрешность.

Для оценки итогового смещения дюн выбраны два временных промежутка – с 1976 по 2000 гг. и с 2000 по 2022 гг. (рис. 3). Промежуточный 2000 год был выбран для наглядности, так как он разделяет общий временной интервал на два почти равных.

На рисунке видно, что с 1976 по 2022 годы гряды сместились на юго-восток, при этом гряда на северо-востоке и южная гряда практически полностью исчезли. Также наиболее сильной деградации подверглись гряды, расположенные на западе, у побережья и на юго-востоке. Центральная гряда менее остальных потеряла в площади.

Измерение смещения показывает, что гряды с 1976 по 2022 год сместились в среднем на 140-170 метров.

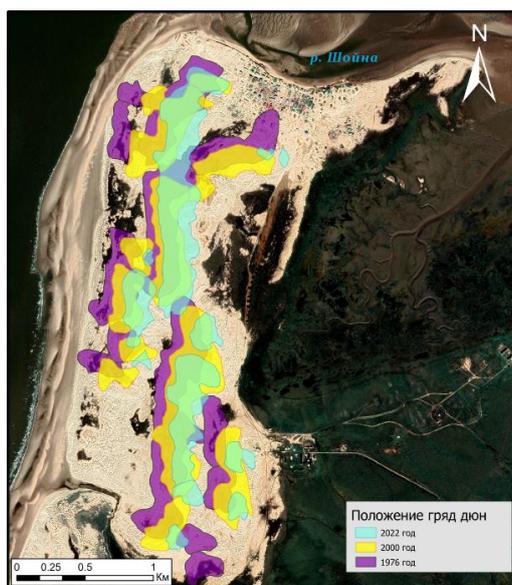


Рис. 3. Положение гряд дюн в 1976, 2000 и 2022 гг.

Выводы

Анализ разновременных данных ДЗЗ показал, что дюнный массив на левобережье реки Шойны изменяется со временем. Динамика площади неоднородна: с 1976 по 1995 годы площадь массива увеличилась на 17 га, а с 1995 по 2022 год сократилась на 54 га – со 145 до 91,5, что составило 37%. При этом отмечается стабильное сокращение массива на всех взятых снимках с 1995 по 2022 годы, что опровергает распространенное мнение о росте массива в последние годы.

Гряды дюн деградируют неравномерно по всей площади. На северо-востоке, юго-востоке и у побережья деградация выражена наиболее сильно, а северо-восточная гряда и часть южной практически полностью исчезли. Наименее выражена деградация площади средних гряд. Это может быть связано с тем, что средние гряды служат промежуточной зоной аккумуляции песчаного материала, переносимого ветром.

С 1976 по 2022 смещение гряд юго-восток составило от 140 до 170 метров. При этом детальную динамику смещения по снимкам Landsat 5 проследить сложно в связи с их низким разрешением и относительно небольшим смещением гряд за промежуточные периоды.

Благодарности

Исследования выполнены за счет гранта РФФИ № 22-27-00499.

Литература

- [1] *Вяткин Е.Д., Репкина Т.Ю.* Динамика дюнного массива на левобережье реки Шойны // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2022. № 9. С. 54-59.
- [2] *Данченков А.Р.* Геоэкологическая оценка морского берега с использованием морфодинамического подхода в условиях особо охраняемой природной территории (на примере Куршской косы) // Автореф. диссертации на соискание ученой степени к. г. н. БФУ им. И. Канта, 2020. 165 с.
- [3] *Куприянов М.А., Кочергин Г.А., Полищук Ю.М.* Анализ погрешности дистанционного измерения площади пространственных объектов на основе моделирования // Вестник Югорского государственного университета. 2018. № 3(50). С. 25-34.
- [4] *Репкина Т.Ю., Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А. и др.* Рельеф и внутренне строение дюнного массива на левобережье р. Шойны (Канинский берег Белого моря): результаты полевых исследований // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2022. № 9. С. 216-221.
- [5] *Сутырина Е.Н.* Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 165 с.
- [6] Тайна Шойны. Правила жизни в заполярном поселке, утопающем в песке. РИА Новости. 06.09.2020. [Электронный ресурс] // URL: <https://ria.ru/20200906/pustynya-1576801353.html>).
- [7] *Bird E.C.F.* Coastal geomorphology: an introduction. Second edition // Chichester; Hoboken, NJ: Wiley, 2008. 411 p.
- [8] *Rasheed M. J., Mashee Al-Ramahi F.K.* Detection of the Impact of Climate Change on Desertification and Sand Dunes Formation East of the Tigris River in Salah Al-Din Governorate Using Remote Sensing Techniques // Iraqi Geological Journal 2021. Vol. 54, No.1A, p. 69-83.
- [9] Google Earth Engine: Timelapse [Электронный ресурс] // URL: <https://earthengine.google.com/timelapse/>
- [10] USGS EarthExplorer [Электронный ресурс] // <https://earthexplorer.usgs.gov/>

S u m m a r y. Based on multi-temporal remote sensing data, the dynamics of the sand dune area on the left bank of the Shoyna River were studied in detail from 1976 to 2022. It was found that the area of the dune massif began to decrease from 1995 and by 2022 had decreased from 145 to 91.5 hectares. It was also established that the displacement of the dune ridges from 1976 to 2022 occurred in the southeast direction and amounted to a total of 140 to 170 meters.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЮЖНЫХ ПРИГОРОДОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Б.Е. Градин, В.С. Дегусарова

*РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, borisgradin@herzen.spb.ru,
wdegusarowa@herzen.spb.ru*

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF LANDSCAPE PLANNING OF THE SOUTHERN SUBURBS OF ST. PETERSBURG

B.E. Gradin, V.S. Degusarova

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. Географический подход в ландшафтном планировании рассматривается в рамках своих компетенций с целью поиска оптимального способа использования природно-ресурсного потенциала территории. На примере пейзажных парков южных пригородов Санкт-Петербурга оцениваются результаты различных ландшафтно-планировочных решений, основанных на противоположных принципах природопользования.

Ключевые слова: географическое ландшафтное планирование, пейзажный парк, водовод, гидросистема, природно-территориальный комплекс.

Введение

Понятие «географическое ландшафтное планирование» сформировалось относительно недавно и заключается в эстетически привлекательном оформлении территорий, которое обеспечивает экологическую безопасность, экономическую эффективность и адаптацию землепользования к территориальной ландшафтной структуре.

Традиционно в ландшафтном планировании под словом «ландшафт» понимается пейзаж в чисто художественном восприятии. Однако именно географический подход в рамках своих компетенций позволяет привнести в него специфические конструктивные пространственные решения как на этапе планирования, так и на этапах эксплуатации и охраны тех или иных природно-территориальных комплексов.

Основная цель географического ландшафтного планирования – поиск оптимального способа многофункционального использования природно-ресурсного потенциала каждой территории, сочетание преобразования ландшафта в естественных границах для нужд человека с максимальным сохранением экологических функций. Одной из задач географического планирования становится классификация комплексов по природно-ресурсному и природно-экологическому потенциалу, по возможным альтернативным вариантам адаптации ландшафтов к избранным видам хозяйственной деятельности и прогнозируемым побочным эффектам [7].

Спецификой географического ландшафтного планирования является

необходимость учета перспективы эволюции экологических функций природных комплексов по мере саморазвития ландшафтов или истощения природных ресурсов. Кроме того, поиск оптимальных видов природопользования, направленных на исключение безвозвратных утрат экологических функций с учетом степени типичности, редкости или уникальности природно-территориальных комплексов.

Регион исследований, объекты и методы

В XVIII веке – «золотом веке» отечественного садово-паркового планирования и в парадных императорских резиденциях, и в дворянских усадьбах на смену регулярности приходят идеи естественности. Появившиеся в это время в Петербурге и его окрестностях пейзажные парки «черпали» свою уникальность в окружающей природе. В царских резиденциях южных пригородов Санкт-Петербурга, используя разнообразные модели ландшафтного планирования, создавались сложные по своей природной организации садово-парковые комплексы. Отличительной чертой русского «национального» парка стало умелое сочетание эстетической красоты и практичности, удачных ландшафтных решений и проявления любви к своеобразиею красоты северного края России. Планировочные решения были направлены на включение всех компонентов ландшафтной структуры в формирование парковых территорий и к закреплению «горизонтальными» связями всех элементов ландшафта.

Особое внимание при этом уделялось природно-рукотворным водным пространствам, которые зачастую становились смысловыми центрами парковых композиций. Русские парки стали настоящими произведениями ландшафтного искусства, в которых ощущался стиль национального пейзажа, а уникальные гидротехническое сооружение гармонично вписывались в ландшафт без серьезных экологических последствий.

Объектом исследования являются географические аспекты ландшафтного планирования пейзажных парковых ансамблей южных пригородов Санкт-Петербурга – Царскосельского и Гатчинского. В работе использованы методы: исторический, описательный, сравнительный и аналитический.

Обсуждение результатов

Подходы географического ландшафтного планирования могут быть использованы не только для решений текущих задач освоения ландшафтов, но и для оценки эффективности эксплуатации и экологической уязвимости «старых» объектов. Рассмотрим примеры, отражающие различные ландшафтно-планировочные решения прошлого, основанные на противоположных принципах. Один из них – принцип максимальной сочетаемости местных компонентов ландшафта и антропогенных процессов. Другой – принцип дальнедействующего эффекта, взаимовлияния значительно удаленных друг от друга элементов ландшафтов.

В конце XVIII века в Гатчине одновременно со строительством дворца началось и обустройство пейзажного парка, большую часть которого занимали водные объекты. Приток Невы, река Ижора, протекавшая вдоль северной

границы города, являлась общим водосбором для гидросистемы будущего парка. Кроме рек на территории будущего парка располагалась система небольших естественных озер. Для создания единого пейзажного образа озера и реки были объединены в единую гидросистему, которая включала как естественные водоемы, так и искусственные гидротехнические сооружения.

В основу гидросистемы положено последовательное соединение водоемов, имеющих различный уровень, реками, водоводами и каналами с рекой Ижорой. Сначала был создан Колпанский водовод, идущий через Приоратский парк, именно он стал «родоначальником» Глухого (Филькина) озера. От Колпанского водовода отходит Безымянный ручей, по которому, минуя Черное озеро, вода сбрасывалась в вырытый Карпин пруд. Уровень воды в ручье регулировался шлюзовым механизмом, при помощи его затворов можно было либо повысить уровень Филькиного озера, либо сбросить избыток воды в Карпин пруд.

Черное озеро, лежащее ниже Филькина, имеет ключи, действие которых в настоящее время слабо ощутимо. Уровень воды Серебряного озера был всегда выше, и вода из него текла в Белое не только по широкой горловине, но и через грот, пробитый под Длинным островом. Водоемы, названные Серебряным, Белым и Черным озерами стали композиционными центрами парков – Дворцового и Приоратского. Для создания живописных пейзажей проводились работы по углублению дна водоемов, создавались искусственные острова. Берега, сообщавшихся между собой озер, были изменены искусственными заливами и мысами. Для лучшей визуализации береговую линию оформили в виде ярусов, а для увеселительных прогулок в заливе Белого озера был устроен Водный лабиринт.

С целью регулирования в различное время года уровня многоводного Белого озера был построен водосброс. От водосброса берет свое начало река Тёплая (или Гатчинка), соединяющаяся с Павловским каналом, который проложен от Павловских (или Холодных) ванн, и впадающая в Ижору.

Второй прорытый водовод соединил Колпанское озеро с рекой Колпанкой (или Колпанская, или Пильчая, или Пильная), которая ранее впадала в Белое озеро. Местами русло Колпанки было спрямлено, а избыток воды недалеко от Холодной ванны был отведен в реку Теплую. Однако это привело к потоплению парка Зверинец. Поэтому для дренажа был прорыт третий канал (Зверинский), по которому вода направлялась сразу в реку Парицу, а река Колпанка стала течь через небольшой каменный водослив. Но даже введение в действие третьего канала не решило проблему отвода паводковых вод, так как река Ижора, ниже впадения в нее Парицы, из-за извилистости и слабого течения не обеспечивала достаточного сброса поступающих вод. Тогда был прорыт четвертый канал – Форелевый (продолжение реки Тёплой), который спрямлял водотоки и обеспечивал интенсивный водосброс в Ижору [2].

Нынешнее состояние гидросистемы внушает тревогу: ветвь Колпанского водовода практически не действует, вторая ветвь гидросистемы загрязнена промышленными и бытовыми стоками, Форелевый канал местами засыпан, вода в нем застаивается. Расчистка гидросистемы Гатчинских парков впервые была

включена в федеральный проект «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология». По данным Комитета по природным ресурсам Ленинградской области по состоянию на ноябрь 2022 г. Ленинградская область достигла ключевых показателей, установленных федеральным проектом «Сохранение уникальных водных объектов» [3].

В императорской резиденции Царского Села первые пруды (верхний и нижний) с подводными и спускными каналами были заложены в начале XVIII в. Вода в них поступала из маловодного болотного ручья, большая часть которого летом пересыхала, а пруды пополнялись дождевыми и тальными водами. При императрице Елизавете планировалось построить в саду фонтан, подведя воду от Дудергофских ключей.

Однако этот проект не состоялся из-за больших финансовых затрат, необходимых на установку водоподъёмных машин. В то же время недалеко от Царского Села, вблизи горы Киргоф, в районе деревни Виттелево, были обнаружены источники, которые располагались выше Царкосельских водоемов. Инженер-подпоручик Островский подтвердил пригодность Виттелевских ключей для водоснабжения Царкосельских прудов, установил достаточную обильность воды и ее высокое качество. Островский был назначен производителем работ по прокладке канала, вода по которому была пущена в 1749 г. Вокруг ключей был устроен бассейн, откуда вода по вымощенному открытому каналу была направлена до Большого пруда в Царском Селе, только под Пулковской дорогой вода текла в закрытом деревянном канале.

Канал обеспечивал водоснабжение два десятилетия, но оказалось, что источник имеет нестабильный дебит, постепенно и канал, и бассейн заплывали, деревянные трубы сгнили. Произведенная реконструкция не смогла обеспечить растущие потребности в воде для запланированного расширения прудов при очередной ландшафтной перепланировке резиденции. Именно поэтому при Екатерине II встал вопрос об использовании нового удаленного (примерно на 17 км), но более надежного источника водоснабжения – Таицких (Ганнибальских или Сонинских) ключей. Эти ключи в мызе Тайцы соседствовали с Демидовскими и Орловскими, но в отличие от них, находились выше по гипсометрическому уровню и были пригодны для создания самотечного водовода, хотя и располагались в зоне рискованного обводнения [6].

Проект Таицкого водовода (или «Баурова канала», «Баурского водопровода»), представлявшего самотечную систему открытых и подземных каналов с накопительными прудами и гротами, в 1773 г. был выполнен под руководством генерал-квартирмейстера Ф.В. Баура. Строительство водовода было выполнено с учетом больших перепадов высот, разнообразия почвогрунтов, встречающихся по пути грунтовых и ключевых вод, пlyingунов, пересечения двух рек – Кузьминки, Вережки и отрогов Кирхгофской гряды [6].

Ключевые воды аккумулировались в Таицком пруде, а далее шли самотеком по открытому вымощенному камнем каналу. Открытый канал переходил в семикилометровый тоннель – Минную галерею – который

начинался в Таицком, а заканчивался в Гурголовском гроте. На протяжении верхового участка водовода падения равнялось 1,9 м.

Далее открытые участки водовода чередовались с закрытыми: при пересечении реки Кузьминки – по каменному акведуку в открытом желобе, по дощатой трубе с гротом и водопадом до Баболовской мызы, по подземному резервуару вблизи Мраморных ворот, откуда шел подземный трубопровод. Завершающий участок до первого Царскосельского пруда представлял из себя открытый канал. Суммарное падение воды на низовом участке вместе с двумя водопадами составляло 14,3 м [6].

В 1787 г. работы были закончены, и осуществлен пробный пуск воды по всей трассе водовода. Комиссия признала сооружение в целом готовым к эксплуатации, но потребовала переустроить часть водовода, поскольку на участках открытого канала и деревянного трубопровода древесина сгнила. Кроме того, недостаточное сечение обеспечивало пропуск только части воды ключей, а в ряде мест вода из открытого канала переливалась на дорогу.

В 90-ые гг. было проведено еще несколько переустройств водовода по проекту инженера И.К. Геррарда, во время которых на участках со сгнившими деревянными конструкциями разрушенные части заменялись на каменные. После этих реконструкций водовод стал пропускать весь объем излившейся воды ключей, обеспечивал не только пруды Царского Села, но и местное население и военные гарнизоны, и даже Павловский дворцово-парковый комплекс.

С запуском Таицкого водовода началось активное водное оформление царской резиденции. Каркас ландшафтного плана составляла гидротехническая система искусственно созданных проточных водоемов, удачно вписанных в природный ландшафт. Их котлованы создавались по одной технологии: дно и откосы засыпались кембрийской глиной, утрамбовывались и укреплялись булыжной отмосткой. Система водотоков и переливных проемов между разно уровневными прудами упрощала уборку дна путем быстрого сброса воды.

Однако, несмотря на регулярные профилактические работы, случались аварийные ситуации, оставлявшие без воды потребителей, в том числе и царскую резиденцию. Поэтому в очередной раз встал вопрос о необходимости дублирования системы водоснабжения. Тогда вспомнили об Орловских ключах и на основе новых прогрессивных технологий построили напорный водопровод с использованием чугунных труб и водонапорных станций. Были возведены регулирующие резервуары: спроектированная по проекту инженера О. Инце «Башня Инка» и две водонапорные башни непосредственно в Царском Селе. До завершения строительства Орловского водовода для решения экстренных проблем водоснабжения в 1901 г. был прорыт канал, соединивший Таицкие ключи с Демидовскими.

После пуска в 1905 г. Орловского напорного водопровода вплоть до 1930 г. Таицкий водовод работал как дублер Орловского и являлся источником питания только парковых водоемов, а использование его для снабжения питьевой водой прекратилось. В последующие годы водовод вышел из строя из-за обрушения

низового участка Минной галереи и закупорки каналов. Несколько раз Таицкий водовод пытались восстановить, но попытки окончились безрезультатно.

В настоящее время из-за полного запустения и сильных разрушений вода до прудов Царскосельского парка не доходит, а новых источников их пополнения пока не появилось. Именно поэтому существует угроза, что процессы деградации водных объектов территории могут принять необратимый характер. Исследование последних лет, включавшее анализ разных вариантов реанимирования гидросистемы, показало, что быстрее всего всю систему или ее части можно восстановить, лишь подключившись к сетям «Водоканала» [8].

Выводы

Географическое ландшафтное планирование не только создает условия для оптимального интегрирования всех компонентов природно-территориальных комплексов при реализации проектов, но и должно предусматривать механизмы обеспечения экологической сохранности искусственно созданной ландшафтной среды в процессе ее дальнейшей эксплуатации несколькими поколениями.

Отсутствие подобных подходов, истощение природных ресурсов, ошибки в принятии решений в процессе использования созданной среды, как и смена собственников и их целей эксплуатации территории, могут привести к конфликтам совместимости видов природопользования и как итог – к необратимым антропогенным нарушениям.

Литература

[1] Источники водоснабжения парковых водоёмов Царского Села [Электронный ресурс]: URL: <http://vodabur.ru/articles/water-sources/> (дата обращения: 06.03.2023).

[2] *Маркевич А., Удальцов Б, Систер Б. и др.* Водные артерии гатчинских парков // Гатчинская правда, 1974 г. №№18, 19.

[3] Нацпроекты: в Гатчине завершён комплекс работ по расчистке водных объектов. // Комитет по природным ресурсам Ленинградской области [Электронный ресурс]: URL: <https://nature.lenobl.ru/ru/news/55118/> (дата обращения: 06.03.2023).

[4] Один из лучших пейзажных парков мира//Гатчина сквозь столетия [Электронный ресурс]: URL: <http://history-gatchina.ru/parks/park/park2.htm> (дата обращения: 01.03.2023).

[5] Отчёт об экспедиции по бывшему Таицкому водоводу 28.10.2001 г. [Электронный ресурс]: URL: <http://sablino.ru/arhiv/vodovod.html> (дата обращения: 01.03.2023).

[6] *Фальковский Н.И.* История водоснабжения в России. М.; Л., 1947. С. 309

[7] *Хорошев А.В.* Географическая концепция ландшафтного планирования // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 4. С. 103-112.

[8] *Юшковский В.* Испытание жаждой // Санкт-Петербургские ведомости. № 225 (7309). 30.11.2022.

S u m m a r y. The geographical approach in landscape planning is considered within its competence in order to find the optimal way to use the natural resource potential of the territory. Using the example of landscape parks in the southern suburbs of St. Petersburg, the results of various landscape planning solutions based on opposite principles of nature management are evaluated.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ИССЛЕДОВАНИЙ БУХТЫ ИНДИГА

Е.И. Дебольская

ИВП РАН, г. Москва, e_debolskaya@yahoo.com

HISTORICAL ESSAY OF INDIGA BAY RESEARCH

E.I. Debolskaya

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. Дан обзор исследований устьевого участка и бухты Индига в XX веке. Приводятся исторические факты об экспедициях, работе гидрометеостанции, собранных материалах, предложениях ведущих ученых академиков В.Н. Образцова и Н.Н. Моисеева о строительстве порта в бухте Индига.

Ключевые слова: бухта Индига, история исследований, строительство порта.

Введение

Интенсивное исследование побережья Северного Ледовитого океана, в частности, Чешской губы, Индигской губы, рек Пеши и Индиги проводилось во втором десятилетии XX века с целью организации круглогодичной навигации в бухте Индига, строительства глубоководного порта и железнодорожных линий, соединяющих сибирские железные дороги и низовья реки Оби с Индигской бухтой. Несмотря на то, что целесообразность устройства порта Индига была доказана, этот проект так и не был реализован. Сегодня вопрос строительства порта Индига вновь стал актуальным.

Изменение глобального климата открывает новые возможности для налаживания регулярного судоходства в Северном Ледовитом океане, больший доступ к полезным ископаемым (судовой транзит через Берингов пролив более чем удвоился в период с 2008 по 2012 год, а морское движение по всему региону продолжает расти экспоненциально). В последние годы движение судов по акватории Северного морского пути значительно активизировалось, и Россия стала активно вкладывать средства в развитие арктических портов в ожидании дальнейшего сокращения ледового покрова и интенсификации перевозок. В 2019 году началось проектирование морского порта в бухте Индига, характеристики которой идеально подходят для организации крупного транспортного узла.

Регион исследований, объекты и методы

Бухта Индига находится за Полярным кругом, в зоне вечной мерзлоты. Однако влияние Канинского тёплого течения, одной из ветвей Гольфстрима, защищенность бухты от сильных ветров и повышенная соленость воды приводят к тому, что бухта практически не замерзает. Поэтому именно это место и предлагалось для строительства морского порта, который будет доступен круглый год. Значительная глубина моря у берегов дает возможность принимать

крупнотоннажные суда. Навигация – круглогодичная, что позволяет идти судам ледового класса без сопровождения ледоколов.

Длина реки Индига – 193 км. Площадь бассейна – 3,79 тыс. км². Расход воды – 55,33 м³/с. Берёт начало в болотах в предгорьях Тиманского кряжа, впадает в Индигскую губу Баренцева моря. Русло реки извилистое, меандрирующее. Ширина реки от 30 до 200 м, в устьевой части до 4 км. Средние глубины 1-3 м, в устье – до 20 м. Питание реки с преобладанием снегового. Устье реки практически не замерзает [8].

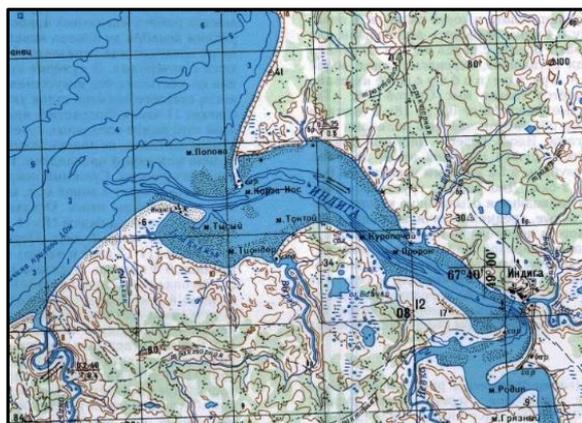


Рис. 1. Карта устьевое участка реки Индига.

После окончания Крымской войны (1853-1856 гг.) власти Российской империи рассматривали вариант транзита товаров через Индигу и строительство в этом месте порта. При советской власти в 1918 г. совещание при Главводе также признало целесообразным постройку морского порта в Индигской губе. В июне – июле в Архангельске снаряжается портоизыскательская партия инженера Наливайко для обследования Индигской губы (рис. 1) [6].

Летом 1921 года изыскания (порта в устье реки Индиги) были продолжены, на этот раз на двух судах – небольшом пароходе «Чеша» и паруснике «Александр» с мотоботом «Свобода». Зимний режим бухты и условия плавания зимой 1921 года изучались изыскательской партией, которую взял ледокольный пароход «Соловей Будимирович», совершавший рейс в Индигу за оленьим мясом. Собранные материалы позволили составить проект порта на Индиге с грузооборотом до миллиона тонн. Позднее изыскания продолжались на бере Индигской губы, через который намечалось проложить морской входной канал. На этой трассе велись геологические работы.

В результате изыскательских работ, произведённых в 1920-1922 гг. в устье реки Индиги получены следующие материалы: план берегов шириной до 100 саженей (213 м) в горизонталях, проведённых через одну сажень, и промеров глубин, характеризующих рельеф дна в масштабе 100 саженей в одной сотой сажени, график колебаний горизонта воды при 10 дневных суточных наблюдениях, титрование пробы воды, взятой во время отлива и прилива для определения солёности, наблюдения над течением в различные моменты приливо-отливной фазы, дающие картину распределения направления скоростей, а также величина расхода воды. Кроме того, произведены 81

реологических и 27 гидрологических наблюдений над атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха, направлением и силой ветра, состоянием моря и ледяного покрова, температурой и плотностью воды. На основании собранных в устье реки Индиги материалов стало возможным охарактеризовать это устье в портовом отношении следующими выводами: 1) заход в устье реки не представляет больших затруднений даже для парусных судов и может быть вполне определён по двум парам створных знаков в устье реки; 2) устье реки защищено от северных ветров двумя мысами и представляют собой хорошую стоянку с плотным илистым грунтом, на котором хорошо держатся якоря; 3) глубина на баре со времени исследования реки капитаном Крузенштерном в 1850 году почти не изменилась (у Крузенштерна было 12 футов, в 1921 году оказалось 10 футов). Это говорит об устойчивости бара и незначительности переноса рекою наносов; 4) длина бара составляет 1000 сажений, поверхностный грунт на баре и в устье на мелких местах песок, на глубоких ил; 5) приливно-отливные колебания горизонта воды в пределах 5 и 7 футов увеличивается во время нагонных ветров до 9 футов, приливная волна распространяется по реке на 30 вёрст от устья; 7) наибольшая скорость течения в суженном месте устьевой воронки при выходе в море. Выяснилось, что зимнему плаванию к устью реки Индиги благоприятствуют преобладающие ветры южных румбов, отгоняющие лёд от берегов и оставляющие под берегом или открытую воду или легко проходимый слабый лёд.

В 1923 году экспедиция портовых изысканий открыла в Индигской губе гидрометеорологическую станцию, построила дом для жилья, баню, склад. Данные наблюдений этой станции за метеорологическими и гидрологическими условиями, а также за состоянием льдов этого района с ноября 1923 г. по октябрь 1928 г. приведены в [10]. Автор отмечает, что до сего времени сведения такого рода добывали только экспедиционным путём и специальными зимними рейсами ледоколов с целью вывоза местной продукции. Хотя зимними рейсами собраны весьма ценные сведения о состоянии льдов не только Индигской, но и Чешской губы в условиях плавания в декабре-январе, всё же они являются временными и отрывочными, не дающими представления о состоянии льда и других метеорологических факторов в губе и устье реки Индиги за весь годовой цикл. Поэтому имеющийся пятилетний период непрерывных наблюдений послужил наиболее полным материалом для выявления климатических условий и условий плавания в этом районе. Таким образом, появились два варианта Индигского порта. Одновременно был обследован водораздел для составления проекта шлюзованного канала, соединяющего Печору с Индигой. Однако постройка порта в бухте Индиги по многим причинам так и не была начата.

Спустя много лет, во время Великой Отечественной войны 1941—1945 годов и позже, вновь и вновь возникал вопрос о создании порта в устье реки Индиги. В 1942 году обследование всего побережья от Канина до Хабарово, выполненное на гидрографическом судне Главсевморпути «Ю. Шокальский», подтвердило, что ни один из ранее намечавшихся пунктов, кроме устья реки Индиги, не заслуживает внимания портостроителей [5].

В статье [9] проанализированы проекты развития транспорта на Европейском Севере СССР, выдвинутые академиком В.Н. Образцовым в послевоенный период. Авторы отмечают, что программы академика Образцова по освоению севера, являясь большой научной ценностью, особенно актуальны в XXI веке. На одной из всесоюзных научных конференций по изучению производительных сил в ноябре 1945 года предметом выступления академика В. Н. Образцова стала возрастающая роль в экономике страны развития транспорта на территории Коми АССР. Следует напомнить, что доклад состоялся в конце победоносного 1945 года, когда страна ещё находилась в руинах. Поэтому перспективы развития транспорта после войны, представленные академиком, безусловно, произвели на слушателей и читателей сильное впечатление. В докладе отмечалось, что для расширения экономических связей с Ленинградом, Мурманском, Архангельском и развития международных отношений может быть использована намеченная «постройка порта в Индиге и железнодорожной линии Кожва–Цильма–Индига, соединяющей этот порт с железно-дорожной сетью». Подчеркивалось, что село Индига Ненецкого национального округа имеет удобное географическое положение на восточном берегу Баренцева моря в устье одноименной реки, находится в зоне вечной мерзлоты, но бухта почти не замерзает. В ней можно создать хорошо защищённый порт круглогодичного действия, доступный для океанских судов, т. к. морская глубина здесь довольно значительна, а портовые устройства возможно сооружать на большой площади бухты. Кроме того, здесь не наблюдалось значительных колебаний уровня воды при речных паводках и морских приливах, что не осложняет работу порта. Идею строительства морского порта и железной дороги до Индиги В. Н. Образцов впервые высказал ещё на собрании партийного актива Сыктывкара: «Это будет незамерзающий порт, он будет работать значительно дольше, чем Архангельск, может быть десять месяцев, а при некоторых условиях даже и круглый год» [4].

В 1999 году российский академик Н.Н. Моисеев предложил вернуться к этому вопросу. В его работе [3] указывается, что есть и еще одно важнейшее обстоятельство, способное сделать круглогодичную эксплуатацию Северного морского пути особенно интересной и перспективной. Автор пишет, что непосредственно восточнее Тиманского кряжа располагается бухта, образованная устьем реки Индига. Это самая восточная незамерзающая (или почти незамерзающая) бухта Баренцева моря, куда еще доходит дыхание Гольфстрима. В работе подчеркивается, что речь должна идти не столько об экспорте леса, проблеме всегда требующей своего решения, сколько об экспорте углеводородного топлива — нефти, газа, угля и что строительство в Усть-Индиге нефтяного терминала решит много вопросов, трудных и для других регионов России.

В 2017 г. проект «Строительство глубоководного порта Индига» включен в государственную программу «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации». Проект предполагает строительство транспортно-промышленного узла пропускной способностью 240 миллионов тонн в год, включающего три терминала (нефтеналивной, сжиженного природного и углеводородного газа, угольный), универсальный перегрузочный

комплекс, специализированные причалы и судоремонтную базу, комплексный аварийно-спасательный центр, пункт пропуска через государственную границу и таможенного оформления грузов. Проект является стратегическим не только для Ненецкого автономного округа, но для Российской Федерации, так как наряду с такими портами – гигантами, как порт Мурманск и Сабетта, глубоководный порт Индига станет мультимодальным транспортно-логистическим центром, способствующим значительному увеличению объема перевозок грузов по Северному морскому пути, обеспечению российских промышленных регионов новыми направлениями экспорта сырья и продукции, разведке новых месторождений [7]. В 2018 году корпорация «АЕОН» заявила о начале реализации проекта по созданию нового морского порта. Как отмечается в генеральном соглашении о создании порта Индига, он станет крупнейшим портом-хабом для перегрузки международных транзитных грузов и фидерных линий на арктический лот [2].

В 2022 г. вышла первая работа по математическому моделированию гидродинамического режима бухты Индига [1]. Получены временные зависимости уровня водной поверхности, скоростей течений и карты распределения течений в зависимости от силы ветра и фаз прилива.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН.

Литература

- [1] *Дебольская Е.И., Кузнецов И.С., Андросов А.А.* Численное моделирование гидродинамических процессов в бухте Индига // Гидротехническое строительство. 2022. №8. С. 42-49. DOI: 10.34831/EP. 2022.79.13.006
- [2] Инвестиционный портал Арктической зоны России <https://arctic-russia.ru/project/port-indiga/>.
- [3] *Моисеев Н.Н.* Заслон средневековью. Сб. М. Тайдекс. 2003. 312 с.
- [4] Научный архив ФИЦ «Коми Научный центр Уральского Отделения РАН» (НА Коми НЦ УрО РАН), Ф 1, Оп 9, Д 53, Л 18.
- [5] *Наливайко Г.Я.* Летопись Севера. Т. IV. М. 1964. С. 77-79.
- [6] *Наливайко Г.Я.* Предварительный отчет о портовых изысканиях в устьях рек Индиги и Пеши Северного Ледовитого океана, произведенных в 1920-1922 гг. Главное управление государственного строительства. Петроград. 1922. VIII. 68 с
- [7] Развитие Арктической морской транспортной системы <http://council.gov.ru/media/files/wuwse49cJY490flfXCaj7Lnju54U9ZIJ.pdf>
- [8] Река Индига http://megapedia.wiki/wiki/река_Индига
- [9] *Роцевская Л.П., Роцевский М.П.* Послевоенные проекты академика В.Н. Образцова развития транспорта на Европейском Севере СССР // Мир транспорта. 2021. Т. 19. No 3 (94). С. 124-132. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-13>
- [10] *Соболева А.Н.* Метеорологические данные и сезон льдов по наблюдениям гиместанции Индиги за 5 лет (1923-1928). Управление по обеспечению безопасности кораблевождения на Северных морях. Архангельск 1929 год <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/216513>

S u m m a r y. A review of studies of the mouth area and Indiga Bay in the 20th century is given. The historical facts about the expeditions, the work of the hydrometeorological station, the collected materials, and the proposals of the leading scientists, academicians V.N. Obraztsov and N.N. Moiseev about the construction of a port in the Indiga Bay.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА В ИЗУЧЕНИИ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ХАУКАЙСЕНЛАХТИ ОСТРОВА КУХКА

Д.С. Дудакова¹, В.М. Анохин^{1,2}, А.В. Пронина², В.М. Уличев³

¹Институт озераедения РАН-СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, *Judina-D@yandex.ru*

²РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург,

³Садово-архитектурный Колледж, г. Санкт-Петербург

THE EXPERIENCE OF USING SIDE-VIEW SONAR IN THE STUDY OF BOTTOM LANDSCAPES OF LAKE LADOGA ON THE EXAMPLE OF HAUKAISENLAHTI BAY OF KUHKA ISLAND

D.S. Dudakova¹, V.M. Anokhin^{1,2,3}, A. Pronina⁴, V.I. Ulitchev⁴

¹*Limnology Institute RAS, St. Petersburg,*

²*Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg,*

³*Horticultural and Architectural College, St. Petersburg*

Аннотация. В июне 2022 г. в бухте Хаукайсенлахти острова Кухка были проведены исследования донных ландшафтов с использованием эхолота с функцией локации бокового обзора. Данные, полученные с нижнего луча, позволили отстроить трехмерную батиметрическую модель исследуемой бухты и получить комплект субширотных и субмеридиональных батиметрических профилей для дальнейшего использования выявленных особенностей рельефа при выделении ландшафтных фаций. Гидролокационные изображения с датчика бокового обзора использовались для проведения границ, оценки простираения и характера смены разных типов литологических разностей и донных ландшафтных фаций. В структуре подводного ландшафта бухты выявлено шесть основных типов фаций. Облик и смена фаций определяются особенностями батиметрического строения бухты, связаны с наличием монолитных скальных поверхностей, твердого обломочного материала и мягких грунтов, распространенных на больших глубинах. Преобладание различных биологических сообществ, характерных для различных фаций, находится в зависимости от глубины, типа поверхности и грунта.

Ключевые слова: *подводные ландшафты, фациальная структура, гидролокатор бокового обзора, батиметрическая модель, Ладожское озеро.*

Введение

Изучение подводных ландшафтов невозможно без использования современных устройств и технологий, позволяющих визуализировать объекты, скрытые для наблюдателя слоем воды. В более ранних наших публикациях приводились результаты исследований с помощью подводной видеосъемки [2; 3]. На данный момент все активнее развивается картирование донных ландшафтов и местообитаний биоты при помощи гидроакустических приборов: гидролокаторов бокового обзора и многолучевых эхолотов, а также лидаров [4; 5]. Знание структурных особенностей ландшафтов важно для пространственного планирования работ на акватории и управления биологическими ресурсами.

Целью представляемой работы авторы полагают выявление ландшафтных фаций мелководной бухты с помощью гидролокации бокового обзора.

Объекты и методы

Исследования проведены 17 июня 2022 г. в бухте Хаукайсенлахти в северо-восточной части острова Кухка Ладожского озера (рис. 1). В работах использован гидролокатор бокового обзора Humingbird SOLIX10 SI+ G3. Визуальные наблюдения за отдельными ландшафтными фациями проведены с помощью подводного аппарата Limnoscout [2], в результате чего авторами получен комплект фотографий облика дна на отдельных участках.

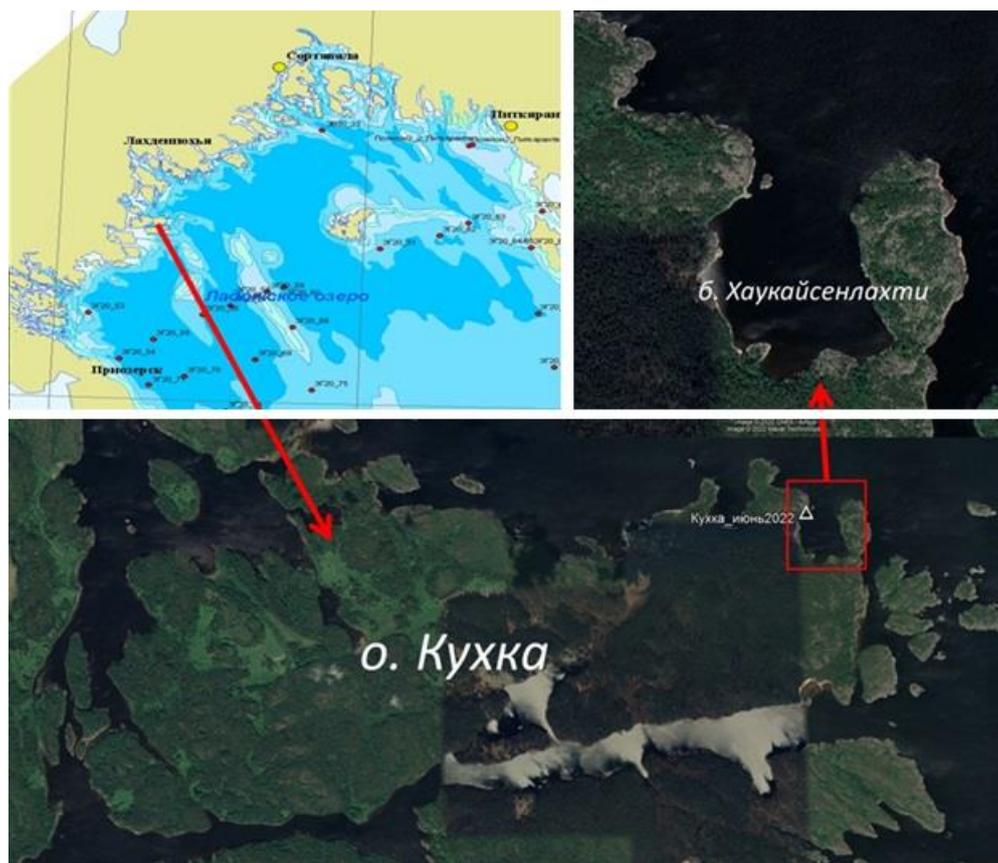


Рис. 1. Расположение исследованной бухты о-ва Кухка.

Данные замера глубин, получаемые при эхолотировании, извлекались из индивидуальных форматов эхолота в таблицу Excel и в дальнейшем использовались как база данных для интерпретации в ГИС программах (Surfer, QGIS). Производилось построение батиметрической модели.

Была разработана частная методика анализа полученных гидролокационных изображений для выделения отдельных литологических и фациальных разностей и проведения границ. Анализ проводился как по высоко- и низкочастотным гидролокационным снимкам с нижнего луча, так и изображениям локатора бокового обзора. Видеоизображения, полученные при видеопрофилировании, анализировались с привязкой к элементам рельефа согласно методике, разработанной нами ранее [2, 3].

Результаты и обсуждение

Глубинные замеры с координатной привязкой, полученные с эхолота и переведенные в геоинформационные программы, позволили создать трехмерную батиметрическую модель и построить серию субширотных (рис. 2) и субмеридиональных профилей.

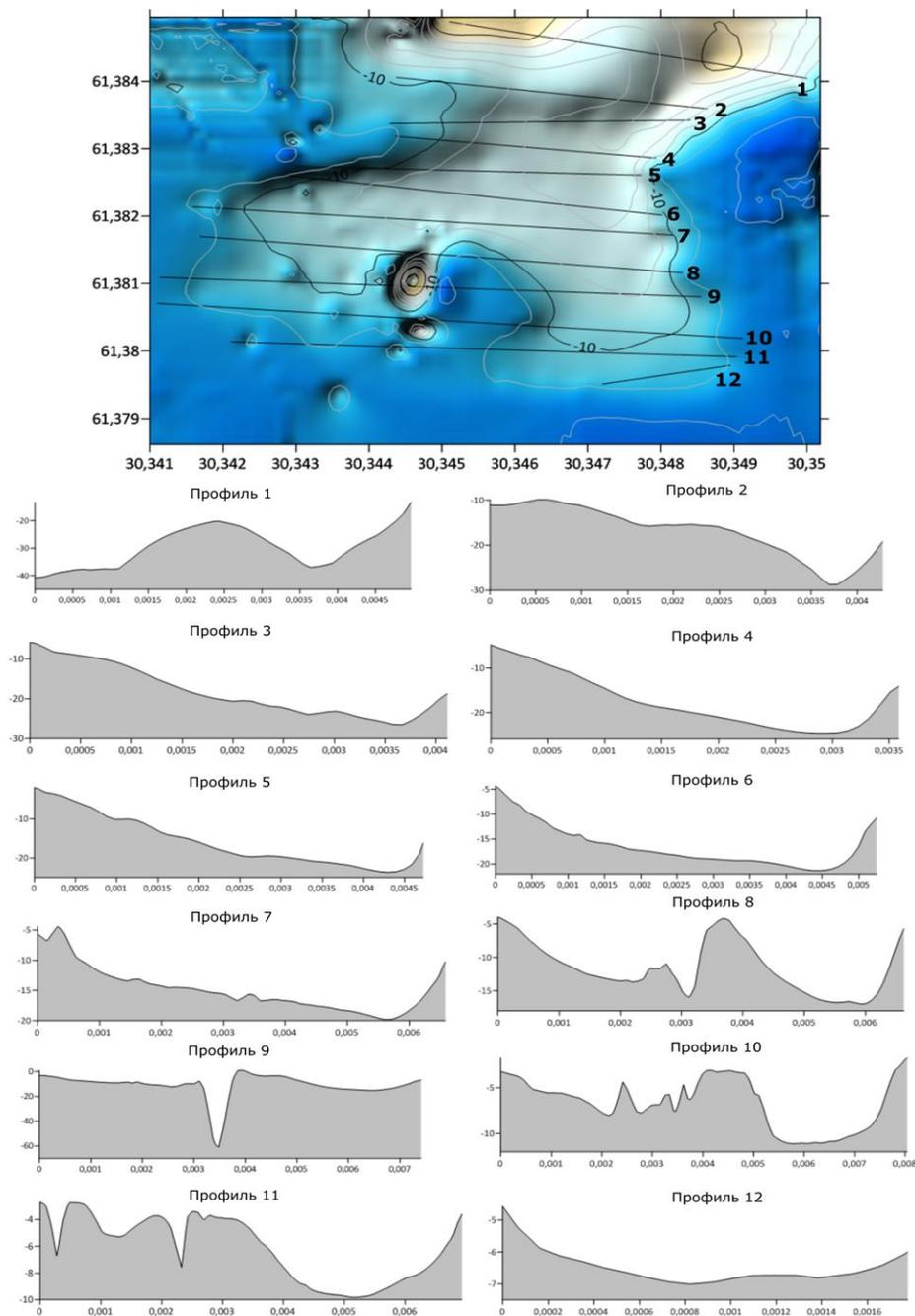


Рис. 2. Форма субширотных профилей, построенных по цифровой модели исследуемого участка акватории.

Бухта Хаукайсенлахти с глубинами до 40 м, расположена в северо-восточной части острова Кухка. Площадь бухты 0,22 кв. км, она протягивается к югу на 600 м при ширине 260x450 м. От основной акватории Ладоги бухта отделяется клиновидным поднятием с глубинами 5-20 м, прорезанным на востоке узким желобом, продолжающимся вдоль крутого (до 70 град) восточного

борта бухты. Западный борт более пологий, уклоны 5-25° продолжаются и далее на более глубоководную центральную часть. Южная часть бухты представляет собой мелководье с глубинами до 3 м и пологим наклоном дна (2-5 град). Центральная часть бухты осложнена поднятием размером 150x200 м, с плоской вершиной и склонами 15-20°.

Различие морфологии западного и восточного бортов бухты связано с различием их геологического строения [1].

По результатам интерпретации снимков с локатора бокового обзора были выделены шесть ландшафтных фаций (рис. 3): 1) F-1 выположенные ступени продолжения западного берега на коренном гнейсовом основании с обломочным материалом, на поверхности которых развивается перифитон (h=0-6 м); 2) F-2 более крутосклонные борта восточной части бухты на гранитном коренном основании со скальными выходами и преобладанием грубообломочного материала, также характеризуются заселением их поверхности перифитонными организмами (h=0-6 м); 3) F-3 дресвяно-галечные и песчаные пояса в подножии скальных выходов (h=2-7 м); 4) F-4 (предположительно) пелитистые маломощные осадки на подъеме коренной породы в центральной части бухты, заселенные двустворчатыми моллюсками и покрытые водорослевой пленкой (h=0-8м); 5) F-5 пески со знаками ряби в кутовой северной части бухты в районе песчаного пляжа, с характерным скоплением крупных органических остатков растительного происхождения и множество следов моллюсков (h=0-2 м); 6) F-6 алеврито-песчаное и алевритистое дно с водорослевой пленкой на некоторых участках и скоплениями крупных растительных водорослевых агрегатов на всей площади, занятой этой фацией; из эпибентосной биоты преобладают мизиды, на небольших глубинах встречаются двустворчатые моллюски и их следы (h=3-40 м); в пределах этой фации на западном склоне выделяется участок (с глубинами от трех до шести-восьми метров) (F-6*) с большим уклоном по сравнению с наиболее пологим днищем в остальной части.

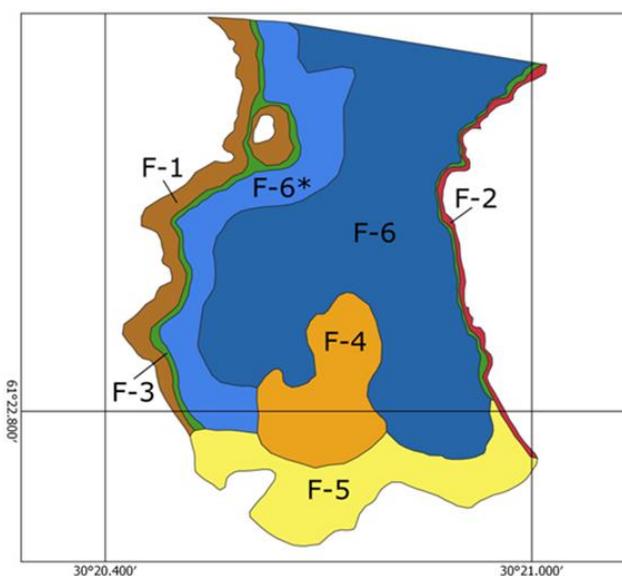


Рис. 3. Карта-схема ландшафтных фаций бухты Хаукайсенлахти о-ва Кучка.

Заключение

В структуре подводного ландшафта бухты Хаукайсенлахти выявлено шесть основных типов фаций. Облик и смена фаций определяются особенностями батиметрического строения бухты, связаны с наличием монолитных скальных поверхностей, твердого обломочного материала и мягких грунтов, следующих за ними на больших глубинах. Преобладание различных биологических сообществ, характерных для различных фаций, находится в зависимости от глубины, типа поверхности и грунта

Благодарности

Авторы благодарны М.О. Дудакову за участие в исследовании. Публикация составлена при поддержке Гостемы ИНОЗ РАН № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов» № госрегистрации АААА-А19-119031890106-5.

Литература

- [1] Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 200000, листов Р-35-XXIV, Р-36-XIX. Сост.: Степанов К.И., Санин Д.М., Санина Г.Н. СПб. 2004.
- [2] Дудакова Д.С., Анохин В.М., Дудаков М.О. Донные ландшафты Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. Санкт-Петербург, 2021. Ладожская монография С. 136-146.
- [3] Дудакова Д.С., Анохин В.М., Поздняков Ш.Р., Дудаков М.О., Юдин С.Н. Подводные ландшафты островов Мантсинсаари и Лункулансаари в зоне рифейских поднятий в восточной части Ладожского озера // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 3. С. 433-445.
- [4] Foster G., Walker B.K., Riegl B.M. Interpretation of Single-Beam Acoustic Backscatter Using Lidar-Derived Topographic Complexity and Benthic Habitat Classifications in a Coral Reef Environment // Journal of Coastal Research Vol. 25, No. 6, Supplement. SPECIAL ISSUE NO. 53. Coastal Applications of Airborne Lidar Remote Sensing (FALL 2009), pp. 16-26.
- [5] Quintino V. Benthic biotopes remote sensing using acoustics // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 2003. 285-286 (4). P. 339-353.

S u m m a r y. In June 2022, bottom landscapes were studied in the Haukaisenlahti Bay of Kuhka Island using backscatter. The data obtained from the lower beam made it possible to build a three-dimensional bathymetric model of the bay under study and obtain a set of sublatitudinal and submeridional profiles for further consideration of relief features when selecting landscape facies. Sonar images from the side-view sensor were used to draw boundaries, assess the strike and the nature of the change of different types of lithological varieties and bottom landscape facies. Six main types of facies have been identified in the structure of the underwater landscape of the bay. The appearance and change of facies are determined by the features of the bathymetric structure of the bay, associated with the presence of monolithic rock surfaces, solid detrital material and soft sediments at great depths. The predominance of different biological communities characteristic of different facies depends on the depth, type of surface and sediment.

МОРФОДИНАМИКА ЛАГУННОГО БЕРЕГА КУРШСКОЙ КОСЫ В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2022-2023 ГГ.

К.А. Ефимова, Г.С. Михневич

БФУ им. И. Канта, г. Калининград, ksyu.efimova.99@inbox.ru, mi78galina@mail.ru

MORPHODYNAMICS OF THE LAGOON COAST OF THE CURONIAN SPIT IN THE WINTER SEASON 2022-2023

K.A. Efimova, G.S. Mikhnevich

^{1,2}Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Аннотация. Берег Куршского залива в пределах территории национального парка «Куршская коса» на значительном расстоянии подвергается активному размыву. Систематические наблюдения за динамикой берегов за исключением периода 2002-2007 гг. не проводились до 2022 г. В работе приведены результаты мониторинга состояния лагунного берега в зимний период. Нивелировочные измерения и исследования гранулометрического состава пляжевых отложений проведены на 4 реперных точках (пос. Рыбачий, пос. Морское). Выявлены сезонные изменения морфологии и параметров пляжа, в проявлении которых значительную роль играют ветро-волновой режим и сгонно-нагонные явления.

Ключевые слова: Куршский залив, пляж, динамика, береговая зона, размыв.

Введение

Куршская коса – уникальный природный объект, входящий в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. На узкой и протяженной песчаной пересыпи располагается одноименный Национальный парк, отличающийся высокой степенью видового богатства флоры и фауны, а также не менее разнообразными формами ландшафта. В настоящее время значительная часть работ посвящена морскому берегу косы, однако лагунный берег также нуждается в регулярном мониторинге. Исследования морфодинамики рельефа на территории ООПТ отличаются своей информативностью за счет минимального антропогенного вмешательства. Несмотря на низкую степень воздействия человека, лагунный пляж подвержен деструктивным процессам. Этому способствуют небольшая ширина пляжей, слабая волновая деятельность, в результате чего естественный намыв песчаного материала затруднен, значительные сгонно-нагонные колебания уровня залива [1]. Литературные данные указывают на то, что скорость размыва составляет около 2,5-3,3 м/год [2].

Объекты и методы

Исследования морфодинамических процессов береговой зоны Куршского залива производились на четырех реперных точках в пределах НП «Куршская Коса» (рис. 1). Работы производились в третью неделю каждого месяца в первой половине дня. Для определения морфодинамических характеристик лагунного берега были использованы два метода: гранулометрический анализ и нивелирование. Нивелировочные измерения производилась при помощи тахеометра Sokkia серии 50RX. Пробы поверхностных пляжевых отложений отбирались в середине сезона на характерных участках береговой зоны. Разделение на фракции производилось при помощи стандартного набора сит. Предварительно пробы подвергались просушке при комнатной температуре.



Рис. 1. Район исследования.

Результаты

За зимний сезон на 4 реперах было выполнено 11 нивелировочных профилей. В связи с ухудшением погодных условий в день полевого выезда не состоялась нивелировка в декабре 2022 года в реперной точке 4. В декабре в прибрежной зоне Куршского залива на всех реперах наблюдался лед. В январе ледовые явления были не повсеместны, лед не имел сплоченного характера.

В северной части Куршской косы, в пос. Морское, зафиксированы процессы размыва в пляжевой зоне лагунного берега. Отступление линии уреза воды в обеих реперных точках составило около 5 м (рис. 2). Преобладают среднезернистые пески.

В реперной точке 1 высокий уровень стабильности показали поверхность призаливной террасы и бровка абразионного уступа, где за зимний период не произошло значительных изменений. Морфология пляжевой зоны демонстрировала очевидную динамику. Декабрьский профиль характеризуется относительно широким пляжем, «унаследованным» от периода низкой гидродинамической активности вод залива, и молодым валом. В январе происходит уменьшение ширины пляжа, в его фронтальной части хорошо заметен штормовой уступ, свидетельствующий о процессе размыва, и вал. Далее, от января к февралю, происходили деструктивные процессы, сдвигающие основание уступа и урез воды вглубь косы: пляж отсутствует, линия прибою сдвинулась к подножию призаливной террасы.

Рельеф в реперной точке 2 характеризуется высоким уровнем изменчивости. Особенным морфологическим разнообразием отличался профиль в декабре. Здесь присутствовало протяженное сухое понижение («лагуна»), отчлененное от Куршского залива широкими распластанными валами двух генераций (более старый вал, тыловой, со следами размыва, и молодой вал - фронтальный, примыкающий к урезу воды). О периодически возникающей связи между «лагуной» и заливом свидетельствуют скопления обломанных стеблей

тростника, не растущего в районе репера 2, а принесенного извне при нагонных явлениях. В январе активность волновых процессов увеличивается, происходит размыв внешнего вала. Урез воды сместился на 3 м. В феврале наблюдается перемещение вала в сторону косы, урез Куршского залива сместился еще на 2,3 м; дно «лагуны» сырое, незначительно углубилось в сравнении с январем.

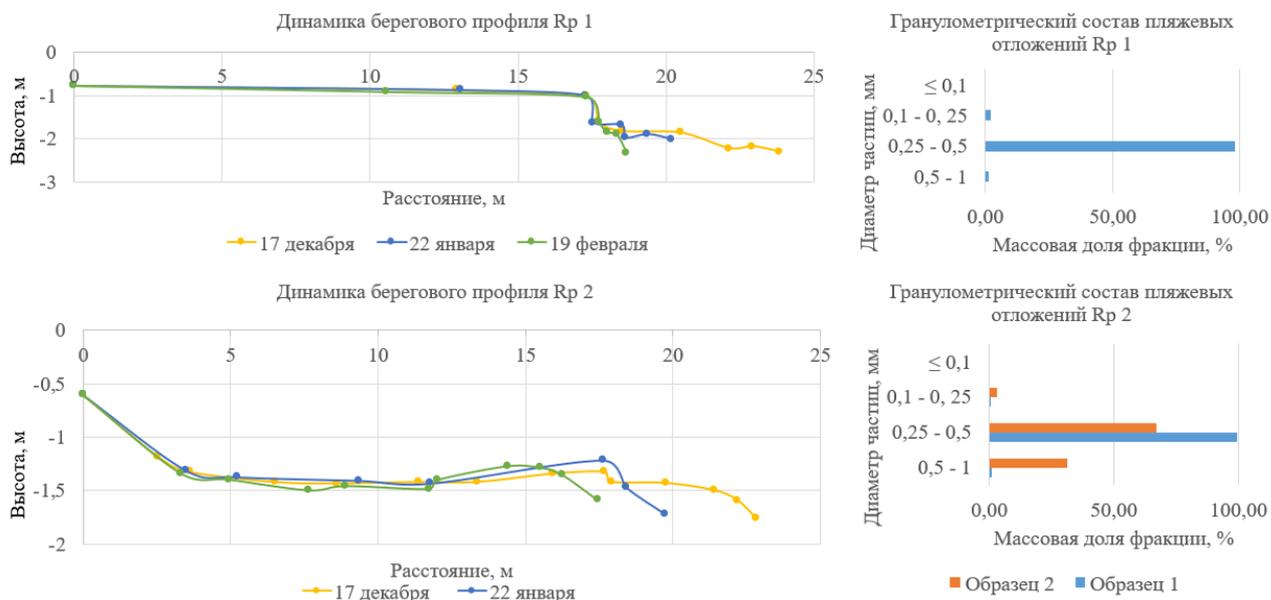


Рис. 2. Характеристики берегового профиля в пос. Морское.

В пос. Рыбачий, располагающемся ближе к основанию Куршской косы, в двух реперных точках зафиксированы разнонаправленные друг другу процессы: в более южной точке (репер 4) произошла аккумуляция пляжа, а в более северной (репер 3) – его размыв (в январе) и намыв (в феврале). Линия уреза воды сдвинулась не более чем на 2,5 м (рис. 3). Как и в пос. Морской, доминирующей фракцией являются среднезернистые пески.

В реперной точке 3 бровка и подножие абразионного уступа призаливной террасы оставались статичными в течение всего сезона. В декабре пляж имел типичный прислоненный характер, в тыловой части пляжа фиксировалась песчаная «подушка». В январе тыловая часть пляжевой зоны осталась практически без изменений; во фронтальной наблюдаются следы размыва, формирование штормового уступа, широкой мокрой ложбины и намываемого на момент съемки вала. Урез воды сместился на 2,4 м. В феврале ширина пляжа вновь увеличилась и вернулась к параметрам декабря, но при этом морфология лагунного берега свидетельствует о процессах размыва. В абразионном уступе призаливной террасы в результате заплеска волн (или нагона) образовалась ниша; размывтый песчаный материал которой был аккумулирован в тыловой части пляжевой зоны. Высота пляжа, особенно во фронтальной, приурезовой части сильно уменьшилась, внешний из двух валов на момент съемки только формируется, тыловой вал – невысокий, слабо выраженный.

Смещение основания дюны зафиксировано в феврале относительно январских данных в реперной точке 4 (рис. 3). За месяц произошло

перераспределение песчаного материала, вследствие чего наблюдается аккумуляция пляжа, поднятие его уровня и, в то же время, сглаживание амплитуды форм рельефа. Динамические процессы в конце сезона привели к образованию ложбины и двух валов плоской формы, внешний из которых едва возвышался над уровнем залива. Ширина пляжа увеличилась на 2 м.

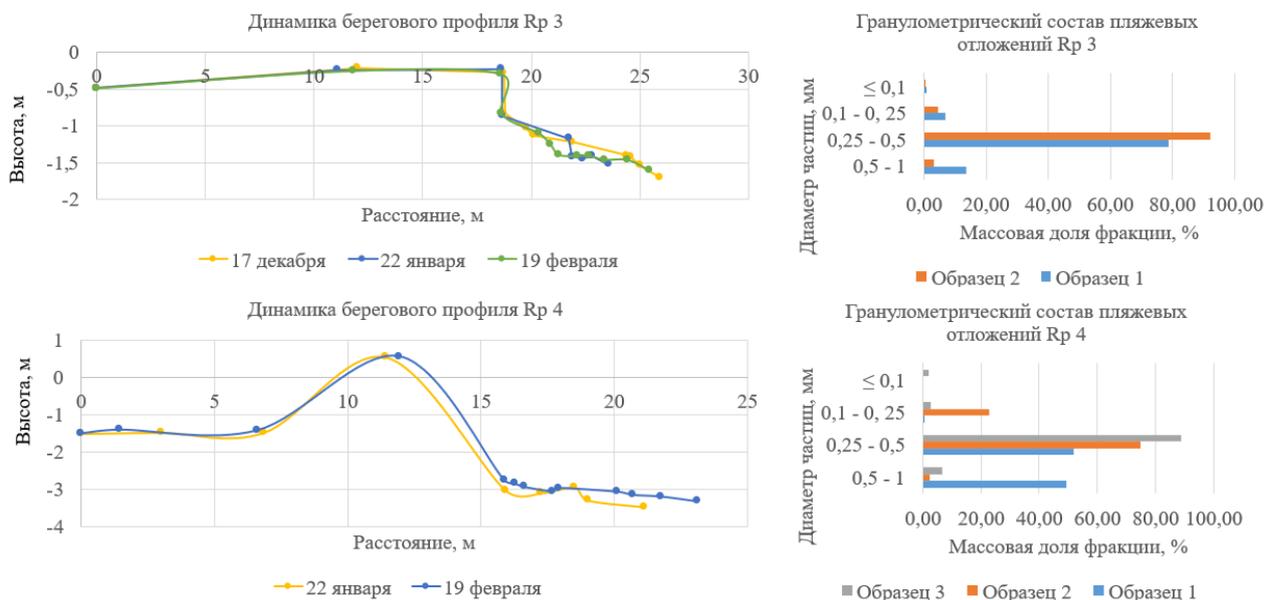


Рис. 3. Характеристики берегового профиля в пос. Рыбачий.

Обсуждение результатов

Полученные результаты отражают высокую степень морфодинамической активности береговой зоны Куршского залива. В районе пос. Морское берег характеризуется как размываемый. В конце прошлого века из-за угрозы размыва территории поселка был произведен намыв песчаной дамбы-пересыпи; однако работы не были окончены (отсыпана половина материала объемом 434,8 тыс. м³, не произошло закрепления внешнего контура дамбы растительностью). После прекращения эксперимента дамба стала активно размываться, ее ширина составляет в зимний период на некоторых участках 5-6 м. Материал размываемой дамбы перераспределяется вдольбереговыми течениями в северо-восточном направлении. На текущий момент подпитка потока за счет размыва дамбы резко сократилась; после некоторой стабилизации ситуации в начале 2000-х гг., на реперах 1-2 (пос. Морское) на протяжении всего сезона наблюдается сокращение ширины пляжа. Активные процессы размыва свойственны и для реперов 3-4 (пос. Рыбачий). Об этом говорит характер форм рельефа в береговой зоне залива: узкие пляжи, наличие абразионных уступов в поверхности террасы или молодой дюны и др.

Сезонные изменения пляжевой зоны находятся под контролем гидрометеорологической обстановки. В феврале за день до съемки наблюдался ЮВ ветер (до 6 м/с), сменивший направление на З, что создавало вначале условия для нагона воды, размыва или подтопления берега, а затем в день съемки

- для сгона. О подъеме уровня залива свидетельствуют отметки уреза воды, формирование штормовых уступов в поверхности пляжа или валов, сырой песок в понижениях «лагуны» на репере 2. Сгонно-нагонными явлениями может объясняться различие в динамике пляжа близ Морского и Рыбачьего. Смена направления ветра в день съемки на репере 1-2 позволила размытому материалу сместиться к северу, а в точках 3 и 4, где уровень нагона вероятно был меньше, а материал размыва потенциально имеется в больших количествах, произошла аккумуляция песка и даже выдвигание уреза воды в сторону Куршского залива.

Благодарности

Авторы выражают признательность сотрудникам и руководству Национального парка «Куршская Коса» и и.о. начальника отдела ГИС ГП КО «Водоканал» Чугаевичу В.Я. за содействие в сборе материалов для исследования.

Выводы

Исследования, проведенные на 4-х участках размываемого лагунного берега, показали, что зимний период характеризуется значительными изменениями в морфологии пляжевой зоны Куршской косы: отмечается размыв пляжа в районе пос. Морское (-5 м) и разнонаправленные перемещения внешней кромки пляжа ($\pm 2,5$ м) в пос. Рыбачий. При этом в каждый из месяцев в комплексе пляжевых микроформ рельефа происходили изменения, контролируемые ветро-волновым режимом и сгонно-нагонными явлениями.

Литература

- [1] *Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Бадюкова Е.Н.* Современная динамика лагунных берегов Куршской и Вислинской кос (Юго-Восточная Балтика) // Балтийский регион – регион сотрудничества – 2019. 2020. С. 278-291.
- [2] *Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Морфодинамика заливных берегов Куршской косы Балтийского моря // Новые и традиционные идеи в геоморфологии: тр. V Щукинских чтений. М., 2005. С. 208-212.

S u m m a r y. The shore of the Curonian Spit in the territory of the National Park «Curonian Spit» is subject with an active erosion for a considerable distance. Systematic observations of coastal dynamics, exception of the period from 2002 to 2007, have not been carried out until 2022. In this work are presented results of monitoring of the lagoon shore condition during winter time. Leveling measurements and research of the beach sediment particle size distribution were carried out at 4 reference points (Rybachiy settlement, Morskoye settlement). Were identified a significant role of the seasonal changes in the morphology and parameters of the beach and in the manifestation of which the wind-wave regime and wind-surges play.

ЭКОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСОВ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР ИЗ ТОНКИНСКОГО ЗАЛИВА, ВЬЕТНАМ (НА ПРИМЕРЕ КОЛОНКИ LV88-55 GC)

Е.Д. Иванова

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, ivanova@tigdvo.ru

ECOSTRUCTURAL ANALYSIS OF BENTHIC FORAMINIFERAL COMPLEXES FROM THE BAY OF TONKIN, VIETNAM (ON THE EXAMPLE OF CORE LV88-55 GC)

Ye.D. Ivanova

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok

Аннотация. В работе приведены первичные результаты микрофаунистического анализа образцов осадков из палеодолины реки Красной (Тонкинский залив, Вьетнам). Исследуемый материал был получен в ходе совместной научной Российско-Вьетнамской комплексной экспедиции на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (88 рейс), выполненной в период 25.10-08.12.2019 г. Полученные данные выявили противоположный характер распределения агглютинирующих и секреторных форм БФ, а также сложность интерпретации при изучении микрофауны из четвертичных отложений исследуемого района.

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, палеоэкология, Тонкинский залив.

Введение

Бентосные фораминиферы относятся к наиболее изученной группе морских микроорганизмов и являются хорошим индикатором изменений морской среды. Донный образ жизни БФ определяет их отклик на климатические события как реакцию на изменение определенных параметров водной среды. Основываясь на морфологии различных таксонов и относительном обилии видов в ископаемых сообществах, можно реконструировать условия древней морской экосистемы и время существования [1].

Материалы и методы

Для палеоэкологического анализа была выбрана колонка LV88-55 GC, отобранная на материковом склоне Вьетнама (палеодолина р. Красной, Тонкинский залив) (рис. 1).

По литологическому составу колонка представлена почти однородным алевропелитовым илом темно-зеленого цвета с отдельными прослоями, обогащенными мелкими обломками моллюсков. В комплексах БФ, встреченных по всему разрезу, было определено 94 вида хорошей сохранности, относящиеся к 58 родам, из которых 74 вида секреторные, 20 – агглютинирующие. В каждом образце подсчитывались общая численность раковин (количества экземпляров на 50 г сухого осадка), количество таксонов и их процентное соотношение. В качестве показателя видового разнообразия использовался индекс Шеннона-Уивера (H'), для определения которого применялась программа PAST [5].



Рис. 1 Местоположение колонки LV88-55 GC.

Численность БФ по разрезу варьирует от 8 до 1580 экз., количество таксонов меняется от 10 до 36. К доминирующей группе фораминифер относятся наиболее встречаемые *Agglutinella agglutinans* (d'Orbigny), *Asterorotalia gaimardii* (d'Orbigny), *Bigenerina nodosaria* d'Orbigny, *Cylindroclavulina bradyi*, *Heterolepa dutemplei* (d'Orbigny), *Pseudorotalia indopacifica* (Thalman), *Quinqueloculina lamarckiana*, *Quinqueloculina seminulum*, *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman), *Textularia* sp., *Triloculina tricarinata* d'Orbigny, характерные для условий внутреннего шельфа [2, 3, 4].

Результаты и их обсуждение

Микрофаунистический анализ позволил выделить интервалы в разрезе в соответствии с изменяющимися количественными и структурными особенностями комплексов БФ (рис. 2).

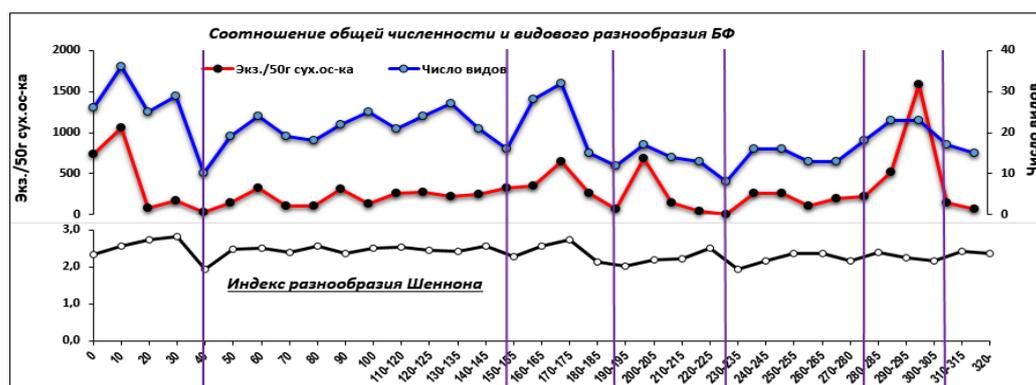


Рис. 2. Соотношение общего числа и видового разнообразия БФ в колонке LV88-55 GC.

Инт. 320-310 см. Здесь отмечается увеличение числа раковин (от 15 до 17) и их обилия (от 61 до 143 экз.) снизу вверх. Комплекс представлен в основном шельфовыми видами, при этом на фоне увеличения содержания агглютинирующих БФ (с 32 до 57%) отмечается снижение численности

секретионных видов (с 67 до 43%). В основании разреза встречен единичный глубоководный вид *Pyrgo sarsi* (Schlumberger), обычный для внешнего шельфа и верхней батиали. Индекс $H' = 2,4$.

Инт 280-310 см. От основания интервала вверх отмечается резкое увеличение количественных параметров БФ с максимальными показателями в т.о. 300-305 см, встречено 23 вида, численность БФ достигает 2315 экз./50г. Далее вверх по разрезу отмечается такое же резкое снижение численности БФ (до 219 экз.), встречено 18 видов. Состав доминантной группы в целом тот же, но изменяется процентное соотношение видов, отмечено высокое содержание *Heterolepa dutemplei* (d'Orbigny) (до 34%), *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) (до 25%) и *Textularia* sp. (до 15%). В акцессорной группе увеличивается численность представителей рода *Quinqueloculina*, типичного для условий внутреннего шельфа, а также тепловодного вида *Pseudorotalia indopacifica* (Thalman), относящегося к индо-тихоокеанской группе БФ и широко распространенного на шельфе Южно-Китайского моря [7, 8]. Индекс H' меняется незначительно (от 2,2 до 2,4).

Инт. 230-280 см. В этом интервале наблюдается постепенное снижение количественных показателей до т.о. 260-265 см. Число видов уменьшается до 13, общая численность БФ снижается от 190 до 108 экз./50г. От т.о. 265 см до 240 см показатели увеличиваются. Здесь встречены единичные представители рода *Lenticulina*, обитающего в условиях внешнего шельфа-верхней батиали [4, 6]. Минимальные показатели приходятся на инт. 230-235см. Здесь встречено всего 8 видов, при общей численности БФ 9 экз./50 г. Индекс $H' = 1,9$. Это самые низкие значения для всего разреза.

Инт. 190-230 см отличается резким увеличением суммарной численности БФ снизу до отметки 200-205 см (от 64 до 1141 экз.) с последующим снижением до 55 экз. Видовой состав, представленный в основном шельфовыми видами, меняется незначительно (от 12 до 17 видов). Значения индекса H' варьируют от 2,0 до 2,5. Отмечается высокое содержание доминантных видов *Agglutinella agglutinans* (d'Orbigny), *Asterorotalia gaimardii* (d'Orbigny), *Bigenerina nodosaria* d'Orbigny, *Heterolepa dutemplei* (d'Orbigny).

Инт. 150-190 см. Комплексы представлены в основном шельфовыми видами. Здесь увеличиваются общая численность БФ и число видов, достигая максимальных значений на отметке 170-175 см, где встречен единичный глубоководный вид *Pyrgo sarsi*. Значение индекса H' достигает 2,7, что характеризует высокое видовое разнообразие. Число видов достигает 32, обилие БФ составляет 640 экз. Доминантный состав БФ в комплексе практически не меняется, в акцессорной группе отмечается высокое содержание представителей родов *Quinqueloculina* и *Elphidium*, обычные для условий внутреннего шельфа [2, 3]. В верхней части интервала количественные параметры снижаются. Встречено видов 16, общая численность БФ – 329 экз./50г.

Инт. 40-150 см характеризуется достаточно однородным составом комплексов БФ. Количественные параметры меняются незначительно: видовой состав варьирует в пределах от 18 до 27, содержание БФ меняется от 104 до 330

экз. Исключение составляет отметка 40 см, где показатели резко снижаются (до 10 видов, до 33 экз. соответственно), отмечено низкое значение индекса разнообразия $H' = 1,9$. Доминирующую роль на этой отметке играет вид *Cylindroclavulina bradyi* (Cushman), широко распространенный на шельфе - верхней батиали.

Инт. 0-40 см. Комплексы БФ характеризуются наиболее высокими показателями для всего разреза. Видовой состав представлен 36 таксонами, обилие БФ достигает значения 1755 экз/50г. Основной состав комплексов представлен шельфовыми видами, но встречаются глубоководные виды: *Sigmoilopsis asperula* (Karrer), представители рода *Nonion*. В этом интервале отмечается значительное увеличение секреторных видов с одновременным снижением числа агглютинирующих таксонов. Состав доминантной группы здесь остался прежним, но число видов аксессуарной группы значительно увеличилось. Стоит отметить появление в этом интервале представителей родов *Bolivina*, *Brizalina*, характерных для внешнего шельфа-батиали, а также увеличение численности представителей родов *Elphidium*, *Quinqueloculina*, обитающих на внутреннем шельфе и редко встречающихся в глубоководных условиях [2, 3, 8].

Следует отметить, что процентное соотношение агглютинирующих и секреторных видов находится в противофазе по всему разрезу, за исключением интервала 90-145 см. На этом отрезке их содержание примерно одинаково (рис. 3).

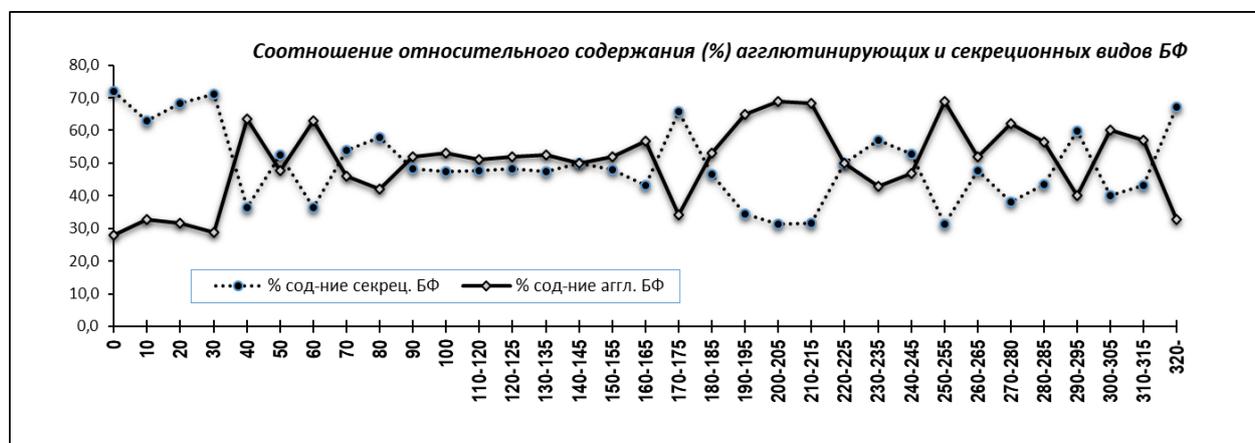


Рис. 3. Процентное соотношение агглютинирующих и секреторных видов БФ в колонке LV88-55 GC.

Агглютинирующие формы предпочитают шельфовую среду окраинных бассейнов с высоким потоком терригенных осадков, в то время как секреторные виды предпочитают более спокойные условия осадконакопления [4, 7, 8].

Выводы

На примере колонки LV88-55 GC был выполнен микрофаунистический анализ отложений из осадочного бассейна Красной реки, расположенного в Тонкинском заливе (шельф Центрального Вьетнама). Полученные данные

выявили противоположный характер распределения агглютинирующих и секреторных форм БФ, что, возможно, связано с изменениями палеоактивности муссонных процессов региона. Исследования также показали сложность интерпретации и использования традиционных методов при изучении фауны из четвертичных отложений исследуемого района, так как часто её состав не отражает современный облик биоценоза [1]. Причиной этому может быть перемыв древних осадков и снос с мелководий, обеспечивающих высокое содержание аллохтонных видов.

Литература

- [1] Геолого-геофизические и океанографические исследования западной части Южно-Китайского моря и прилегающего континента (по результатам 88 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и береговых экспедиций 2010-2020) / колл. авторов; глав. ред. Р.Б. Шакиров; отв. ред. М.Г. Валитов, Н.С. Ли, Нгуен Хоан, Фун Ван Фать. М.: ГЕОС, 2021. 412 с.
- [2] Саидова Х.М. Бентосные фораминиферы Тихого океана. М.: Институт океанологии имени П.П. Ширшова АН СССР, 1975. 881 с.
- [3] Фораминиферы дальневосточных морей СССР. Новосибирск, изд-во: Наука, 1979. 398 с.
- [4] *Ann Holbourn, Andrew S. Henderson and Norman MacLeod Atlas of benthic foraminifera // 2013. Natural History Museum. Published 2013 by Blackwell Publishing Ltd.*
- [5] *Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 2001.4(1): 9 pp.*
- [6] *Jean-Pierre Debenay A Guide to 1,000 Foraminifera from Southwestern Pacific: New Caledonia // IRD Éditions Institut de recherche pour le développement, Marseille. Publications Scientifiques du Muséum Muséum national d'Histoire naturelle. Paris, 2012.*
- [7] *Renata Szarek Biodiversity and biogeography of recent benthic foraminiferal assemblages in the south-western South China Sea (Sunda Shelf). Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel, 2001.*
- [8] *Yanli Lei, Tiegang Li Atlas of Benthic Foraminifera from China Seas. The Bohai Sea and the Yellow Sea // Springer Geology. Science Press, Beijing and Springer-Verlag GmbH Germany, 2016.*

S u m m a r y. The paper presents the primary results of microfaunistic analysis of sediment samples from the paleovalley of the Krasnaya River (Gulf of Tonkin, Vietnam). The material under study was obtained during the joint scientific Russian-Vietnamese complex expedition on the RV «Akademik M.A. Lavrentiev» (cruise 88), carried out in the period of October 25–December 8, 2019. The data obtained revealed the opposite nature of the distribution of agglutinating and secretion BF forms, as well as the complication of interpretation in the study of microfauna from the Quaternary deposits of the study area.

ВОДНЫЙ БАЛАНС ДЕЛЬТ ПЕЧОРЫ И КОЛЫМЫ, И ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИХ

М.В. Исупова, Е.Н. Долгополова

Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН)

WATER BUDGET OF THE PECHORA AND KOLYMA DELTAS, AND CHANGES OF ITS COMPONENTS

M.V. Isupova, E.N. Dolgopolova

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. We compare the long-term changes in the components of the water balance of the Pechora and Kolyma deltas located in sporadic and continuous permafrost. The trends of changes of the main components of the delta water balance equation (river water runoff, precipitation, runoff loss (or addition) at deltas) under the climate warming (late XX – early XXI centuries) are considered. Our analysis reveals a clear increase of the values of the main components of the water balance, especially noticeable recently (2008-2018).

Keywords: *Pechora, Kolyma, delta, water balance, water runoff, precipitation, runoff losses.*

Introduction

The regime of river mouths of the subarctic region is changing significantly as a result of climate warming. Numerous articles devoted to studies of changes of water flow in the subarctic river mouths indicate steady increase of the river water flow W_Q in this area. The precipitation regime is also changing. An increase of the air temperature affects permafrost processes. The role of numerous lakes at the territory of subarctic river mouths is increasing. These processes affect the formation of the components of the water balance of the deltas. This paper presents the trends of changes of the components of the water balance of two deltas at the Russian Arctic coast – Pechora and Kolyma. The Pechora River is the most western Russian river of the Arctic Ocean basin, whose catchment area is partially located in the permafrost zone (~19%, of which 6% are in continuous permafrost zone). The Kolyma River, its delta and catchment area are completely located in the continuous permafrost zone. The Pechora and Kolyma deltas, located in the area of sufficient humidification (the ratio of potential evaporation E_0 to precipitation P changes in the range 0.49–0.70), are generally characterized by a neutral-positive water balance and a climatically determined weak increase of the runoff. As a rule, the river runoff is the greatest incoming term of the delta water balance.

Study area, materials, and methods

The Pechora mouth (Fig. 1, a) is estuarine-delta type and includes a tidal wide-flood mouth section of the river (70 km long), a multi-branch bay-head delta and a shallow semi-closed estuarine seashore – the Pechora Bay of the Barents Sea. The delta head (DH) is located at the place of river separation into large branches – the Great (Bolshaya) Pechora and Small (Malaya) Pechora (~120 km from the delta coastline (DCL)). Main delta branches (shars): Utcher, Tundrovii, Srednii, Gorodetskii, Golubkovskii, Krestovyi, Boldin, Glubokii. At the Gr. Pechora mouth there is an extensive Pechora bar, the main furrows of which are navigable.

The Kolyma mouth (Fig. 1, b) is delta-estuarine type and includes the mouth section of the river (162 km long), the little-branch protruding delta and the estuarine seashore (East-Siberian Sea). The Kolyma DH is located ~10 km below the village Tchershii (~120 km from the DCL) at the place of the river separation into the channels Kamennaya (the main navigable branch) and Tchernousovskaya, which downstream the confluence with the Markhayanovskaya is called Pokhodskaya. Then Tchukoch'ya Ch. branches to the left off the Pokhodskaya Ch., flowing straight into the sea. There are extensive bars at the mouths of the Pokhodskaya and Kamennaya Ch.

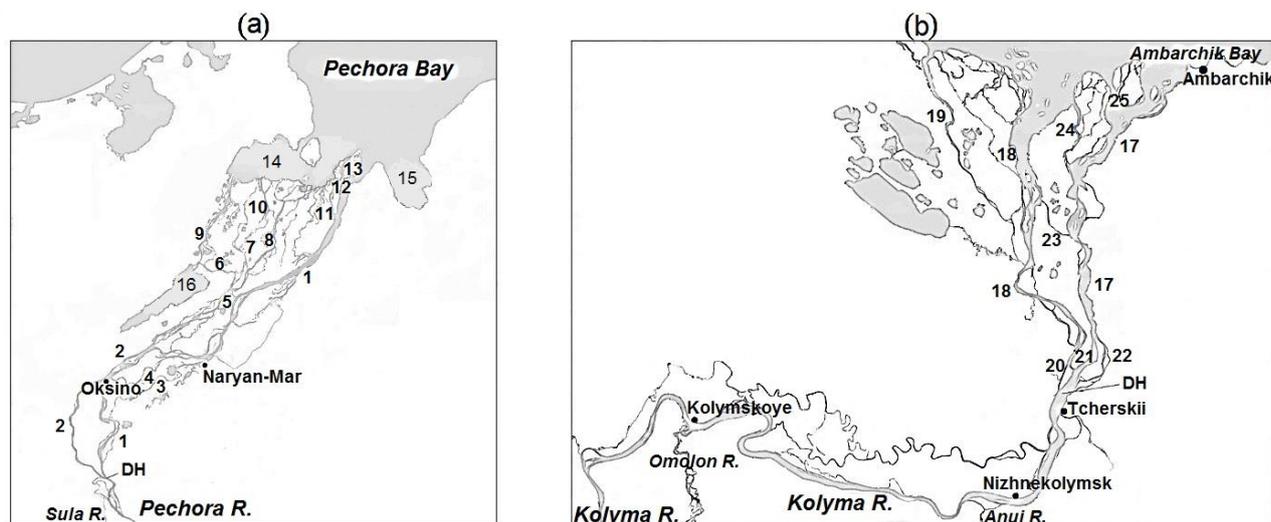


Fig. 1. Map-schemes of the Pechora (a) and Kolyma (b) mouths (according [Yandex.Maps]). Branches and lakes: Great Pechora (1), Small Pechora (2), Gorodetskii (3), Golubkovskii (4), Mesin (5), Utcher (6), Krestovyi (7), Srednii (8), Tundrovyi (9), Boldin (10), Glubokii (11), Kamennaya (12), Nevolin (13), Korovinskaya Bay (14), Bolvanskaya Bay (15), Golodnaya Guba (16), Kamennaya (17), Pokhodskaya (18), Tchukoch'ya (19), Tchernousovskaya (20), Markhayanovskaya (21), Talovaya (22), First Poperechnaya (23), Selivanovskaya (24), Second Poperechnaya (25). DH – the delta head.

The main hydrological, climatological and morphometric characteristics of the deltas are presented in Table 1.

Table 1. The main hydrological, climatological and morphometric characteristics of the Pechora and Kolyma mouths according to the calculations of the authors of this article and to data the [10, 11]

Characteristic	Pechora	Kolyma
Delta area F_d , km ²	2590	3250
Length of the delta main branch, km	120	113
Length delta coastline, km	66	80
Number of mouths of the main branches	14	6
Long-term mean water discharge at DH Q_m , m ³ /s	4120-4230	3320-3960
Water runoff at DH W_0 , km ³ /year	130-133	105-125
Mean max. Q_{max} , m ³ /s	23000	17200
Mean min. Q_{min} , m ³ /s: summer/ winter	~2500/430	1560/54.2
Oscillation of water level at DH, m	5.0-9.0	5.0-6.0
Average annual air temperature T , °C	-3.2	-13°
Annual precipitation, mm	400-500	~200
Duration of freezing, days	>200	~238

Value at DCL tides/surges, m	0.7 (0.42–1.02)/2.0–3.0	0.1/2.5
Distance of propagation into the delta, km:		
tides, during low water/flood	160/10-15	–
reverse flow during tide	80	–
surges	150-160	282
brackish waters	~10	–

To calculate the components of the water balance and the hydro-meteorological characteristics of the Pechora and Kolyma mouths, the data presented in [3, 4, 6, 7, 9, 13, 14]. The water balance of deltas was calculated by the simplified formula:

$$W_Q \pm \Delta W_d = \Sigma W_i \pm \Delta W, \quad (1)$$

where W_Q is the annual water runoff in the Pechora and Kolyma DH; ΔW_d is the runoff losses in delta ($\Delta W_d = (E_d - P_d) \cdot F_d \cdot 10^{-6}$); P_d and E_d – precipitation and potential evaporation at the delta (mm/year); F_d is the area of the delta (km²); W_i – surface water runoff to the sea; ΔW – change of water storage in the delta (all components of the formula in km³/year). When considering the water balance of deltas over a multi-year period, the value $\pm \Delta W$ is assumed to be equal to 0.

Results

Trends in changes in the main components of the Pechora and Kolyma deltas water balance. The long-term water discharge Q_m Pechora and Kolyma DH has been growing at an intensity of 0.20%/year (Pechora) and 0.26%/year (Kolyma), and in 2008-2019 the intensity of growth has increased significantly.

The Q_m at Pechora DH (Oksino gauge (g.)) is 4120-4230 m³/s (130–134 km³/year). At the same time, in the long-term changes in Q_m , for 1936-2018 its increase is noted with an intensity of ~0.20%/year (Fig. 2, a). In 2008-2018, Q_m increased to 4640 m³/s (146 km³/year) – by ~9.7% compared to 1936-2005, and the average summer magnitudes of Q_{max} , Q_{min} and winter Q_{min} for 2008-2018 also increased and became 29800, 2620 and 587 m³/s, respectively. In [5] it is shown that the amount of Pechora delta water runoff below Oksino g. equals to 142 km³/year, which can be taken as ΣW_i in formula (1). The average annual Q of Kolyma in Kolymskoye g. increased with an intensity of 0.26%/year (Fig. 2, b) at $Q_m=3320$ m³/s (105 km³/year). Taking into account the water flow of the Anui right tributary (580 m³/s, 18.3 km³/year) flowing into the Kolyma 105 km below the Kolymskoye g., Q_m at Kolyma DH is 3900 m³/s (123 km³/year).

Precipitation P in these regions is also increasing (0.25-0.44%/year) for 1966-2019, raising the incoming part of the equation of the water balance of the both deltas. At the same time, in 2008-2019, the growth of P was observed at meteorological-stations (m/s) (Pechora and Naryan-Mar m/s in Pechora basin, and Srednekolymsk, Ostrovnnoye and Tcherskii m/s in Kolyma basin) with the exception of the one located in Ambarchik Bay (Kolyma estuarine seashore).

According to [9, 13] on Pechora m/s (~600 km above DH) and Naryan-Mar m/s, the annual amount of P increased to 636 (0.37%/year) and 494 mm (0.48%/year), respectively, and on the of Srednekolymsk m/s, Ostrovnnoye m/s (139 km southeast of

the Kolyma DH) and Tchersii m/s – to 255 (0.41%/year), 245 (0.07%/year) and 274 mm (0.42%/year), respectively. A decrease in P to 113 mm (0.98%/year) was observed at Ambarchik m/s. The growth of P is consistent with the conclusions of work [8], which noted the growth of P for Russia as a whole (2.1%/10 years), with the most significant trend in the regions of Central and Eastern Siberia (3.1-3.4%/10 years). Long-term trend of P in the Arctic in 1936–2009, averaged over the latitudinal zone of 60-70°N [1], also gives an increase P by 8% relative to P norm for 1961-1990.

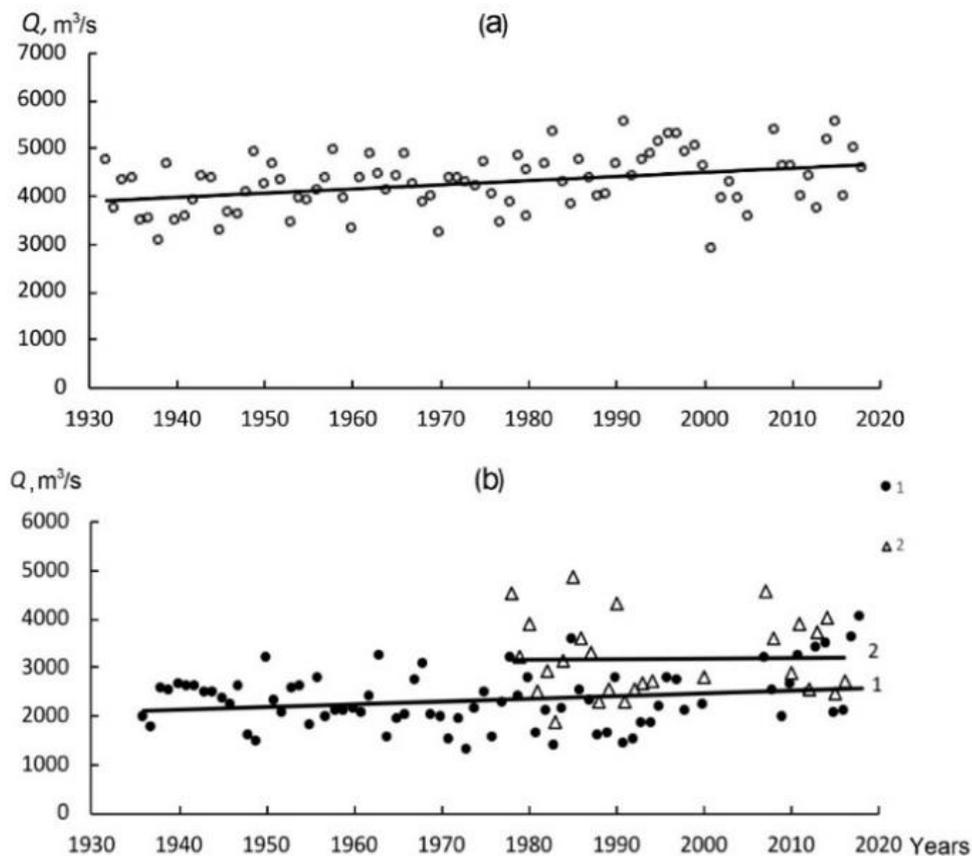


Fig. 2. Long-term changes of Q at Pechora DH (Oksino g.) for 1932-2018 (a) and Kolyma (Srednekolymensk g.) for 1936-2018 (1) and Kolymskoye g. (DH) for 1978-2019 (2) (b).

Water losses at the delta are determined by runoff into the sea, evaporation and infiltration into underground horizons. Losses due to evaporation ΔW_d at the Pechora and Kolyma deltas were estimated by the ratio of P_d and E_d . The estimate of the values of ΔW_d at the Pechora and Kolyma deltas for the whole observation period gives +0.78 and +0.06 $km^3/year$, respectively. This is climatically determined increase of water runoff.

The equation of the deltas water balance. Calculation data on the components of water balance equation for the Pechora and Kolyma deltas during different time periods are presented in Table 2. Analysis of the variability of W_Q and P for the Pechora and Kolyma deltas in different seasons in the period 2008-2019 showed that in autumn, winter and spring, the incoming part of the balance increases, and in summer – it decreases.

Table 2. The main components of Pechora and Kolyma deltas water balance for 1978-2019 (dash – lack of data). Notes: W_Q – on Oksino g. (Pechora) and Kolymskoye g. (Kolyma), P – on Naryan-Mar m/s (Pechora) and Tcherskii m/s (Kolyma)

River	Periods	W_Q , km ³ /yr	P_d , mm/yr	E_d , mm/yr	ΔW_d , km ³ /yr	ΣW_i , km ³ /year	
						Equation (1)	[2, 5]
Pechora	1932-2018	135	477	300	0.78	135.8	–
	1978-2019	143	492	300	0.50	143.5	132-142
	1978-2007	141	491	300	0.49	141.5	–
	2008-2019	146	494	300	0.50	146.5	–
Kolyma	1978-2019	123	220	200	0.06	123.1	124-125
	1978-2007	121	196	200	–0.01	121.0	–
	2008-2019	127	274	200	0.24	127.2	–

With the further increase in air temperature T and the growth of P in the Russian Subarctic region (and in the Arctic as a whole), the increasing tendency of the water and sediment runoff of rivers, as well as at their deltas, will continue. Numerous delta lakes, usually of thermokarst origin, will play a significant role in the variability of the water balance of the Arctic deltas (including Pechora and Kolyma deltas). With an increase in T , the area of delta lakes will increase, as a result of permafrost thawing and intensification of bank slough, which, in turn, will cause an increase in evaporation from the open water surface at the delta and an increase in the expense part of the water balance.

Acknowledgment

This study was carried out under Governmental Order to Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, subject no № FMWZ-2022-0001.

References

- [1] *Alekseev G.V., Radionov V.F., Aleksandrov E.I., et al.* Climate changes in the Arctic and the Northern Polar region // *Arctic and Antarctic Res.* 2010. No 1(84). Pp. 67-80.
- [2] *Alekseevskii N.I., Magritskii D.V., Mikhailov V.N.* Anthropogenic and natural changes in hydrological restrictions for nature management in the Russian Arctic deltas // *Water management of Russia.* 2015. No 1. Pp. 14-31 (in Russian).
- [3] Arctic RIMS (Regional, Integrated Hydrological Monitoring System for Pan-Arctic Land Mass) // <http://rims.unh.edu/data/station/list.cgi?col=1>. Accessed May 26, 2022.
- [4] Atlas of World Water Balance. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 65 p.
- [5] Atlas: Morphodynamics of estuarine systems of large rivers of the Russian Arctic coast. Moscow: APR, 2017 (in Russian).
- [6] Automated Information System of State Monitoring of Water bodies // <https://gmvo.skniivh.ru>. Accessed March 10, 2022.
- [7] Climate of World Cities: monthly data. Russia. Tcherskii // <https://meteoinfo.ru/climatcities?p=1414>. Accessed September 02, 2022.
- [8] *Dzhamalov R.G., Safronova T.I.* Effect of Permafrost rocks on water resources formation in Eastern Siberia: case study of some rivers in Eastern Siberia // *Water Resources.* 2018. V. 45. № 4. Pp. 455-465.

- [9] Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Russian Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC) // <http://meteo.ru/>. Accessed June 11, 2022.
- [10] *Kravtsova V.I., Mit'kinykh N.S.* River mouths of Russia. Atlas of space images. Moscow: Nauchniy Mir, 2013. 124 p. (in Russian).
- [11] *Mikhailov, V.N.* River Mouths in Russia and Nearby Countries: The Past, Present, and Future. Moscow: GEOS, 1997. 413 p. (in Russian)
- [13] Monthly and annual amounts of precipitation in Tchersky // http://www.pogodaiklimat.ru/history/25123_2.htm Accessed October 04, 2022.
- [14] Norms and trends of temperature and precipitation for the regions of Russia // <http://www.igce.ru/performance/map-data/climate-monitoring-data-for-russian-regions/norms-and-trends-of-temperature-and-precipitation-in-russian-regions/>. Accessed April 01, 2022.

S u m m a r y. The long-term changes in the components of the water balance of the Pechora and Kolyma deltas, located in the conditions of discontinuous and continuous permafrost, are compared. The trends of changes in the main components of the delta water balance equation (river water runoff, precipitation, losses (or additions) of runoff in deltas) under conditions of climate warming (late 20th – early 21st centuries) are considered. The analysis shows a clear increase in the values of the main components of the water balance, especially noticeable recently (2008-2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ДАЛЬНЕГО ПЕРЕНОСА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Е.И. Котова, В.Б. Коробов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, szoioran@mail.ru

INVESTIGATION OF SPATIAL HETEROGENEITY OF LONG-RANGE TRANSPORT IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE DVINSKY BAY OF THE WHITE SEA

E.I. Kotova, V.B. Korobov

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. В прибрежной зоне океанов и морей происходит трансформация многих характеристик природной среды. Но открытым остаётся вопрос, какое влияние местные условия оказывают на пространственную неоднородность режимных характеристик, особенно, когда влияющие на них факторы находятся на значительном удалении от данной местности. К таким задачам, имеющим важное прикладное значение, в частности, относится определение количества атмосферных выпадений, обусловленных дальним переносом. В качестве первого этапа исследований для трёх точек, расположенных в вершине Двинского залива Белого моря, были рассчитаны концентрации в воздухе и потоки некоторых примесей за один календарный месяц. Установлено, что имеет место пространственная изменчивость, причём увеличение концентраций практически для всех примесей происходит с юга на север. *Ключевые слова:* прибрежная зона, дальний перенос, обратные траектории, пространственная изменчивость.

Введение

Прибрежные зоны морей являются особым природным объектом, отличающимся своими характеристиками, как от прилегающих территорий, так и акваторий. Особенно это касается воды и воздуха, как наиболее динамичных геосфер. Как следствие, и экологическая ситуация в прибрежных зонах также имеет свои особенности [6].

На загрязнение прибрежных территорий существенное влияние оказывает дальний перенос [4], особенно при сложной конфигурации береговой черты, как это имеет место в вершине Двинского залива Белого моря. Но и локальные синоптические условия также могут заметно повлиять на распространение аэрозолей в приземном слое [7]. Всё это заставляет полагать, что в таких районах должна иметь место пространственная изменчивость концентраций веществ, поступающих в результате дальнего переноса.

Целью настоящей работы стала проверка этой гипотезы, в случае подтверждения которой необходимо будет проведение расчётов для большего числа точек и коррекция системы экологического мониторинга, которая сейчас не в полной мере охватывает устьевую область Северной Двины [3, 8].

Методы

В основе оценки концентрации загрязняющих веществ лежит пространственный анализ траекторий переноса воздушных масс и примесей к произвольному географическому пункту. Для расчета траекторий используется модель HYSPLIT4 и данные реанализа метеорологических элементов NCEP/NCAR. Одновременно с расчетом траектории движения рассчитываются данные о количестве осадков и высоте слоя перемешивания. Данная методология для подобного рода исследований прошла неоднократную апробацию и успешно применяется в северных и арктических регионах [1].

Итоговый расчетный файл представлен массивом точек в пространстве системы координат, данных о количестве осадков и высоте слоя перемешивания. Учитывая эмиссии источников, рассчитываются концентрации примеси в воздухе. Полученные характеристики пересчитывались затем в потоки примесей на поверхность. Значения эмиссии были одинаковыми, поэтому разница в потоках веществ обусловлена только метеорологическими особенностями переноса примеси.

Расчет велся для 3 точек. Одна точка была расположена на территории г. Архангельска (рис. 1), две другие на южной и северной оконечности о. Мудьюгский в Двинском заливе Белого моря. Расстояние от точки 1 до точки 2 примерно 25,5 км, от точки 2 до точки 3-14 км.

Расчеты выполнены для июля 2019 года ежечасно с 00 часов 01.07.2019 до 23.00 30.07.2019. Июль был выбран как репрезентативный месяц для летнего сезона. Дискретность в 1 час позволит учесть суточные изменения процессов, происходящих в прибрежной зоне.

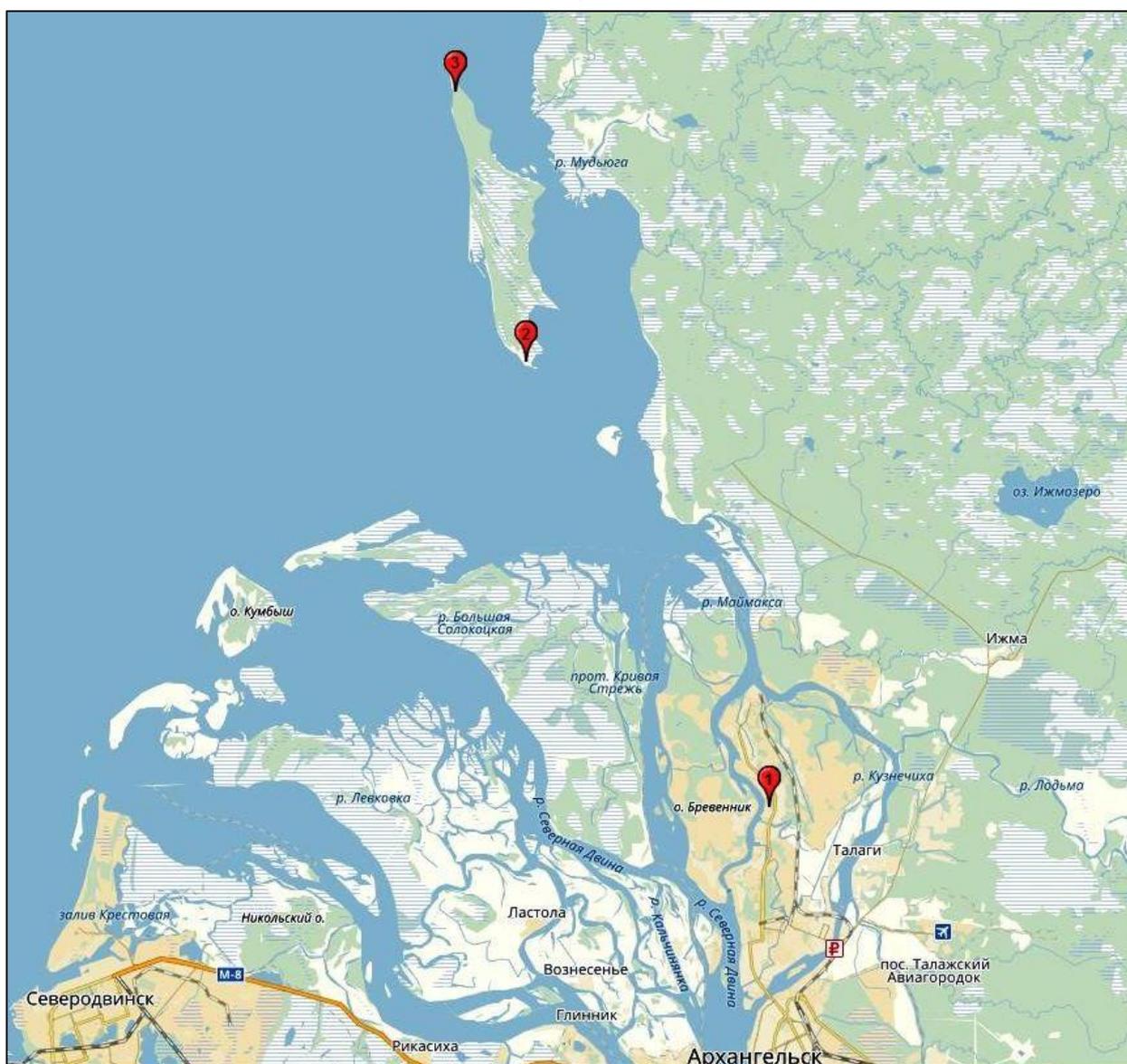


Рис. 1. Расположение расчетных точек.

В данной работе мы рассматриваем влияние именно синоптических процессов в прибрежной зоне на перенос и осаждение примеси из атмосферы. В связи с этим, для того чтобы исключить непосредственное влияние источников выбросов в атмосферу предприятий, расположенных в г. Архангельск, особенно на точку 1, отдельно были посчитаны концентрации без учета выбросов предприятий Архангельска.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2. Как видно из расчетов практически нулевые значения получены для кадмия и цинка, т.к. основные источники данного металла находятся вне зоны циркуляции воздушных масс, оказывающих влияние на состав атмосферного воздуха, рассматриваемого района.

Таблица 1. Расчетные концентрации примеси в атмосферном воздухе и потоки на поверхность для ежедневных траекторий (с учетом выбросов Архангельска)

Концентрация, нг/м ³							
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
точка1	0.0020	0.0000	0.0010	0.0002	0.0024	0.0096	0.2084
точка2	0.0012	0.0000	0.0006	0.0000	0.0008	0.0080	0.1326
точка 3	0.0007	0.0000	0.0004	0.0000	0.0010	0.0066	0.0817
Потоки, мкг/м ² /месяц							
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
точка1	0.10	0.00	0.05	0.01	0.12	0.48	10.27
точка2	0.06	0.00	0.03	0.00	0.04	0.39	6.53
точка 3	0.04	0.00	0.02	0.00	0.05	0.32	4.03

Таблица 2. Расчетные концентрации примеси в атмосферном воздухе и потоки на поверхность (без учета выбросов Архангельска)

Концентрация, нг/м ³							
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
точка1	0.0020	0.0000	0.0010	0.0002	0.0023	0.0017	0.2009
точка2	0.0012	0.0000	0.0006	0.0000	0.0007	0.0000	0.1251
точка 3	0.0007	0.0000	0.0004	0.0000	0.0010	0.0000	0.0755
Потоки, мкг/м ² /месяц							
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
точка1	0.10	0.00	0.05	0.01	0.12	0.09	9.90
точка2	0.06	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	6.16
точка 3	0.04	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	3.72

По полученным данным снижение расчетных концентраций веществ в атмосферном воздухе и потоков примесей на поверхность практически для всех веществ происходит с юга на север, т.е. от суши в сторону акватории. При этом следует учесть, что основное влияние оказывают мощные выбросы предприятий Кольского полуострова. И логично было бы увидеть картину увеличения концентраций с севера на юг. Но из-за особенностей циркуляции (рис. 2) процесс переноса и осаждения примесей намного сложнее.

Максимальные расчетные концентрации получены для меди, при этом влияние источников Архангельска невелико, примерно 4% от потока меди из атмосферы даже в районе самой близкой точки 1. Для потоков никеля свинца и мышьяка влияние выбросов предприятий Архангельска практически не прослеживается.

Предположительно рассчитанные в настоящей работе значения могут быть несколько скорректированы при учёте таких источников загрязнения как Северодвинск, где обнаружены участки накопления тяжёлых металлов в почвах в промышленных зонах [2].

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 0400 UTC 03 Jul 19
 CDC1 Meteorological Data

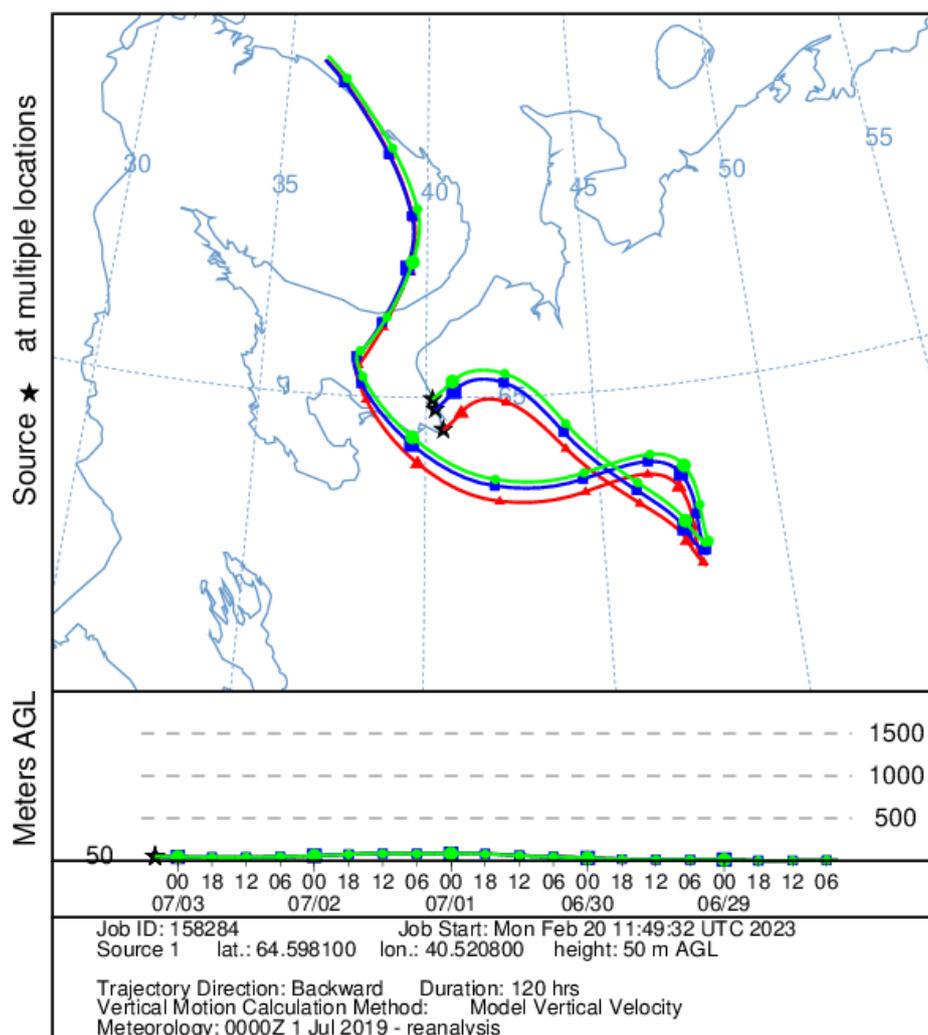


Рис. 2. Траектории движения воздушных масс к расчетным точкам 03.07.2019.

Выводы

Полученные в результате расчётов концентрации примеси в атмосферном воздухе и потоки на поверхность, как с учётом, так и без учета влияния Архангельска, отмечаются заметной пространственной изменчивостью. И не всегда поддаются формуле распределения: «чем ближе к источнику, тем концентрация выше».

Район, выбранный для проведения расчётов, можно в определённом смысле рассматривать как модельный для всей Российской Арктики, прибрежная зона которой отличается весьма сложными и изменчивыми природными условиями [6].

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–77–10074.

Литература

- [1] *Виноградова А.А.* Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера, 2014. Т. 13, № 4. С. 5-20.
- [2] *Коробицына Ю.С., Попова Л.Ф., Васильева А.И., Усачёва Т.В.* Экологическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами почвенного покрова г. Северодвинска. Научный диалог, 2013, № 3(15). С. 75-93.
- [3] *Коробов В.Б., Шевченко В.П., Котова Е.И.* Нерешенные задачи исследования устьевой области Северной Двины // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 2. С. 125-138. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(2\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).6).
- [4] *Котова Е.И.* Оценка состояния местных источников загрязнения и дальнего переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктики. // Автореферат диссертации кандидата географических наук. Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, 2013.
- [5] *Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П.* Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России // Современные проблемы науки и образования, 2012. № 6. С. 631-638.
- [6] *Моря российской Арктики в современных климатических условиях.* СПб.: ААНИИ, 2021. 360 с.
- [7] *Полькин В.В., Голобокова Л.П., Козлов В.С., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Панченко М.В., Пескова М.А., Ходжер Т.В., Шевченко В.П.* Оценка связи микрофизического и химического состава для приводного аэрозоля Белого моря // Оптика атмосферы и океана, том 17, 2004, № 5-6, С. 377-385.
- [8] *Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Северная Двина.* Москва-Воронеж, ООО «ЮКОНЪ», 2022. 196 с.

S u m m a r y. Many characteristics of the natural environment are being transformed In the coastal zone of the oceans and seas. But the question remains open as to what influence local conditions have on the spatial heterogeneity of regime characteristics, especially when the factors influencing them are located at a considerable distance from a given location. Such tasks of important applied importance include, in particular, determination of the amount of atmospheric deposition caused by long-range transport. As the first stage of the research, concentrations in the air and fluxes of some impurities for one calendar month were calculated for three points located at the top of the Dvina Bay of the White Sea. It was found that there is spatial variability, and the increase in concentrations for almost all impurities occurs from south to north.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕАНДРА ПРИ ПОДВИЖКЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

О.Я. Масликова¹, И.И. Грищук^{1,2,3}, Д.Н. Ионов¹

¹Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), г. Москва, oksana68@mail.ru

²Российский Университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия

³Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

INVESTIGATION OF THE MOVEMENT OF THE MEANDER DURING THE MOVEMENT OF THE EARTH'S CRUST UNDER THE CONDITIONS OF THE PERMAFROST

O.Ya. Maslikova¹, I.I. Gritsuk^{1,2,3}, D.N. Ionov¹

¹Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences (WPI RAS), Moscow, Russia

²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

³Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Аннотация. Поскольку в криолитозоне есть сейсмоопасные районы (на Камчатке и Дальнем Востоке), было начато проведение исследований движения бассейна реки в случае изменения уклона земной поверхности вследствие катастрофических явлений. Для этого в гидравлической лаборатории РУДН проводятся серии экспериментов по исследованию размыва русла и миграции меандров в таких условиях. Использовалась установка, позволяющая изменять угол наклона части потока, содержащей меандр.

Ключевые слова: мерзлые почвы, изгиб русла, меандрирование, уклон поверхности.

Введение

Катастрофические явления, такие как землетрясения и подвижки земной коры, разломы и резкие изменения горизонтального уклона, отразятся на водном балансе не только в зоне эпицентра, но и в смежных регионах. Для исследования таких изменений в гидравлической лаборатории проводятся серии экспериментов на установке, позволяющей менять угол уклона поверхности относительно горизонта.

Подобные эксперименты в лабораторных условиях проводятся впервые, и в планах авторов продолжить эту тему. В данной статье приводится имеющаяся на настоящий момент теория и самое начало исследований.

Регион исследований, объекты и методы

В [1] авторами рассматривались соотношения таяния снега (особенно в весенний период) или интенсивность дождя и способности грунта впитывать эти потоки, зависящей от степени оттаивания грунта. В весенний период наряду с пиком таяния снега происходит одновременное размораживание породы склона, и не всегда эти явления совпадают по интенсивности.

1. Если интенсивность таяния не превышает скорость инфильтрации, то вся влага уходит на пропитывание грунта. В этом случае склоновых потоков не образуется и никакого размыва не происходит. Скорость поднятия этого горизонта равна скорости впитывания талых вод в грунт (предполагается, что этот уровень горизонта равен уровню основного потока).

2. Если интенсивность таяния превышает скорость инфильтрации, то излишки талой воды уходят в сток. На самой вершине склоновый расход равен разности интенсивности дождя и скорости инфильтрации:

$$q_{\text{скл}} = q_{\text{т}} - q_{\text{инф}}.$$

Но на каждом участке склона своя вертикаль талых вод, поэтому вниз по склону эти потоки объединяются с верхними, и в каждой точке склона расход будет равен:

$$q_{\text{скл}} = (q_{\text{т}} - q_{\text{инф}}) \cdot l$$

где l – расстояние от вершины склона до рассматриваемой точки.

Склоновый сток, таким образом, будет линейно возрастать с уменьшением высоты, формула размыва будет зависеть от расстояния от вершины склона, а сам размыв иметь тенденцию к увеличению от вершины к подножию.

Формула размыва, полученная ранее, переписывается с учетом этого:

$$S = \frac{6 \cdot 10^{-9}}{w(i^2 + 10^{-6})} \frac{\sqrt[3]{g(q_{\text{т}} - q_{\text{инф}})l}}{\lambda^{4/3}} \text{tg} \alpha^{4/3} \quad (1)$$

Таким образом, если не рассматривать влияние основного потока, то сезонное влияние атмосферных осадков происходит наиболее интенсивно у подножия склона, ближе к урезу воды – где наиболее мощные склоновые потоки.

3. Если нижняя граница снежного покрова (наиболее распространенный случай) является мерзлой породой, то скорость инфильтрации рассматривается с поправкой Арманда + 0,6 град. на нижней границе (начальное условие). В каждой точке склона расход будет равен:

$$(Q_{\text{т}} - 0,6 \cdot Q_{\text{инф}}) \cdot l$$

где l – расстояние от вершины склона.

Область применимости коэффициента 0,6 будет продвигаться вглубь грунта по мере оттаивания, изменяясь в каждой конкретной точке от 0,6 до 1 (статья по дождю). Скорость протаивания вглубь грунта, распределение потоков и перераспределение их по мере оттаивания в грунте описано в [1]. Таким образом, определяется результирующий склоновый поток для уравнения (1).

Для того, чтобы началось оттаивание, потоки тепла сквозь толщу должны достичь поверхности грунта. Обычно это происходит после стаивания снега на поверхности, который стечет вниз по склону, не деформируя пока ещё мерзлый грунт. Таким образом, будет запаздывание оттаивания склона в зависимости от толщины и плотности снега и внешней температуры воздуха. Уравнения, описывающие все фазы таяния снега и распределение этих процессов во времени, приведены в [2].

Лабораторная проверка

1. Экспериментальное определение коэффициента шероховатости на склоне

Под эквивалентной шероховатостью [4] понимают высоту выступов равнозернистой шероховатости из однородного песка, при которой в квадратичной области сопротивления получается такое же значение λ , что и на рассматриваемом участке.

Для определения шероховатости λ была проведена серия экспериментов с различным уклоном свободной поверхности, при которой замерялась скорость течения и глубина потока на склоне. Расчет производился по зависимости, полученной из формулы Дарси-Вейсбаха:

$$V = \frac{1}{\lambda} \sqrt{2ghi}.$$

Построена зависимость $\lambda = f(Re)$.

Таблица измерений

Уклон i , %	Скорость V , м/сек	Шероховатость λ
1	0,055	0,8
2	0,16	0,4
3 (началась подвижка ч-ц)	0,37	0,2
4	0,6	0,14

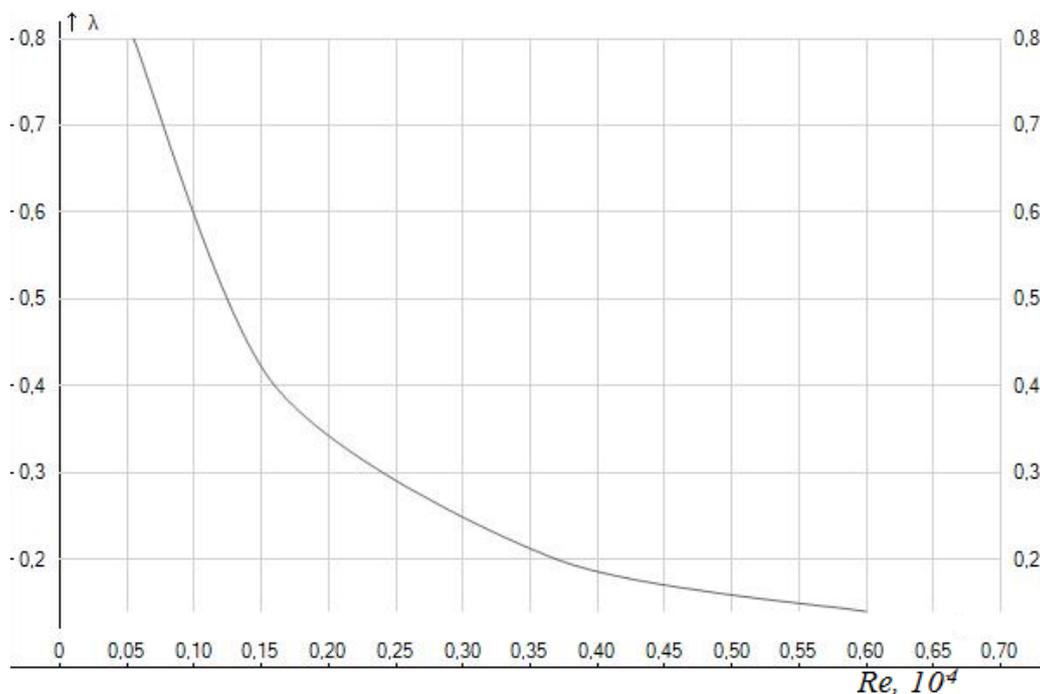


Рис. 1. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости потока на склоне.

2. Экспериментальное исследование размыва меандра в лабораторных условиях

В гидравлической лаборатории была проведена серия экспериментов по исследованию размыва меандра. Противоположные склоны (внешний и внутренний) выкладывались маркерным песком различного цвета для отслеживания миграции наносов и дифференцирования их. На рисунке 2 слева склон до начала эксперимента, справа – после. Как и было ожидаемо, внешний склон размывается интенсивнее [3], в то время как внутренний подвергается только проседанию, вещество при этом практически не движется.



Рис. 2. Эксперименты по исследованию размыва меандра.

3. *Изменение геометрии канала при увеличении уклона земной поверхности*

При изменении уклона земной поверхности геометрия канала в разрезе будет претерпевать существенные изменения. На рисунке 3 схематически показаны поперечные разрезы русла на участке меандра а) в состоянии равновесия до изменения уклона; б) случай уклона в сторону внешнего склона; в) в сторону внутреннего склона. В первом случае внешний берег будет продолжать размываться, а внутренний намываться, и вследствие этого сам меандр будет мигрировать, постепенно двигаясь все дальше и дальше «вниз». Во втором случае, в зависимости от угла наклона, меандр будет иметь тенденцию к сглаживанию. Разумеется, всё зависит от конкретной местности (состав грунта, климатические условия) и степени уклона по отношению к первоначальному.

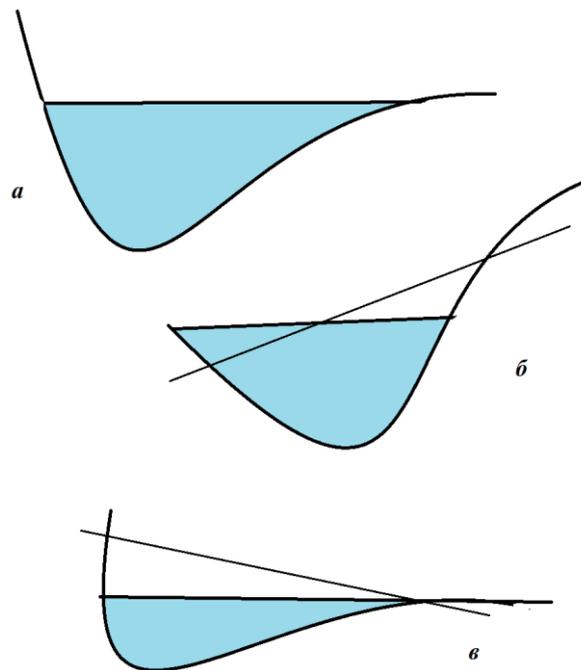


Рис. 3. Схематические разрезы русла: а) в состоянии равновесия до изменения уклона; б) случай уклона в сторону внешнего склона; в) в сторону внутреннего склона.

Выводы

Ранее были получены выводы о характере размыва на участке меандра – наиболее подвергается размыву внешний, вогнутый склон, с которого вещество под действием больших скоростей вымывается интенсивнее, а вблизи внутреннего склона происходит оседание породы и сползание в поток. Дальнейшие исследования и эксперименты позволят получить более полную модель движения наносов, включающую уравнения движения потока на склоне с учетом таяния подстилающего грунта, осадков, вихревого движения жидкости на повороте русла и возможного изменения уклона земной поверхности в сейсмоопасных районах. Лабораторная установка позволяет получить не только изменение угла уклона земной поверхности, но и добавить опцию, имитирующую дождевые потоки, которые также являются дестабилизирующим фактором в случае катастрофических изменений.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема № FMWZ-2022-0001; № государственной регистрации: 122041100222-7).

Литература

- [1] *Грицук И.И., Дебольский В.К., Масликова О.Я., Пономарев Н.К.* Влияние осадков в виде дождя на деформации берегового склона русел рек в условиях многолетнемерзлых пород. Лед и снег, 2012. №3(119). С. 73-78.
- [2] *Грицук И.И., Дебольский В.К., Масликова О.Я., Пономарев Н.К., Синиченко Е.К.* Лабораторное исследование снеготаяния как составляющей сезонного процесса деформаций русла. // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2013. №3. С. 83-91.
- [3] *Масликова О.Я., Грицук И.И., Ионов Д.Н., Дебольский В.К.* Влияние распределения скоростей в закругленном потоке на характер размыва береговых склонов. // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2019. Том 20. № 1. С. 85-95.
- [4] *Штеренлихт Д.В.* Гидравлика: учебник для вузов (3-е изд., перераб. и доп.). М.: КолосС, 2005. 655 с.

S u m m a r y. Since there are seismically hazardous areas in the permafrost zone (in Kamchatka and the Far East), research was begun on the movement of the river basin in the event of a change in the slope of the earth's surface due to catastrophic phenomena. For this purpose, a series of experiments are being carried out in the hydraulic laboratory of the Peoples' Friendship University of Russia to study the erosion of the channel and the migration of meanders in such conditions. A setup was used that made it possible to change the angle of inclination of the part of the stream containing the meander.

СТАНОВЛЕНИЕ ПЕРВЫХ ЛАНДШАФТНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

В.А. Низовцев¹, Н.М. Эрман², Ю.А. Кобзева²

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, nizov2118@mail.ru,

²Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, г. Москва, jul.ya.ko@yandex.ru

FORMATION OF THE FIRST LANDSCAPE MANAGEMENT SYSTEMS IN CENTRAL RUSSIA

V.A. Nizovtsev¹, N.M. Erman², J.A. Kobzeva²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow

²S.I. Vavilov Institute of the History of Natural Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. Анализ предшествующего опыта природопользования дает возможность оценить роль прежних антропогенных воздействий в отношении современного состояния окружающей природы. Ключевым методом исследования выступает системный ландшафтно-историко-археологический метод – основной как при полевом, так и камеральном изучении территории. В Центральной России первые ландшафтно-хозяйственные системы (ЛХС) появляются в бронзовом веке с переходом у местных племен от присваивающего к производящему хозяйству. Основа таких систем определяется природными свойствами ландшафтов и их морфологических частей, неразрывно функционирующих со всеми, включенными в них, видами хозяйственного воздействия. На ряд ключевых участков выполнены реконструкции исходной ландшафтной структуры и ландшафтно-хозяйственных систем.

Ключевые слова: ландшафт, природопользование, ландшафтно-хозяйственная система, бронзовый век.

Введение

Современное состояние природной среды отражает результат длительного исторического процесса взаимодействия социума и природы, жизнедеятельности человека в конкретных ландшафтных условиях. Антропогенная трансформация ландшафтов, приводящая к изменению их природных свойств и изменению их структуры связывается со сменой присваивающего типа хозяйства на производящий, так называемая неолитическая революция. Природообразующая деятельность человека, в первую очередь, зависит от характера природопользования, видов и способов ведения хозяйства. В свою очередь, на ранних этапах социоестественной истории развития территорий природопользование было жестко детерминировано ресурсной базой, определяемой местными ландшафтными условиями.

Методологической основой исследований является представление о том, что конкретная хозяйственная деятельность в конкретных ландшафтных условиях должна рассматривалась как единая система. На протяжении длительного времени различные виды природопользования, осуществлявшиеся в конкретных ландшафтных комплексах, складывались в определенные ландшафтно (природно)-хозяйственные системы. В широкий научный оборот понятие о природно-хозяйственных системах (ПХС) ввели Н.Л. Чепурко [9] и

Г.И. Швобс [10]. Природные свойства конкретного ландшафтного комплекса определяют пространственные масштабы и структуру природно-хозяйственных систем. В дальнейшем это понятие у ряда исследователей ландшафтоведов трансформировалось в представления о ландшафтно-хозяйственных системах (ЛХС) [5, 8]. В процессе ведения хозяйства в природной составляющей появляются новые устойчивые элементы, представляющие как антропогенно-трансформированные природные компоненты, так и антропогенные ландшафтные комплексы более низкого ранга. Наиболее тесная корреляция ЛХС с местной ландшафтной структурой наблюдается на локальном уровне, чаще всего с ПТК ранга урочище и подурочище. Это связано с исторически выработанной адаптивностью к местным природным условиям хозяйственной деятельности человека. Территориальная организация, типы производства в сельском и лесном хозяйстве, размещение и характер поселений во многом обусловлены исходной ландшафтной дифференциацией. Устойчивость и целостность конкретных ЛХС определяется единством выполняемых социальных и экономических функций, что находило отражение в структуре хозяйственных угодий.

Поэтому реконструкция ресурсного потенциала ландшафтных комплексов с определением их основных «производственных» характеристик, а также хозяйственных угодий, отражающих природопользование в конкретное историческое время и составляющих основу функционирования ЛХС является главной методической задачей таких исследований. Выявление закономерностей формирования первых ЛХС, их динамики и эволюции основывается на «сквозном» ландшафтно-историко-археологическом исследовании территории с сопряженным изучением ландшафта и хозяйственной деятельности в нем [5].

Обсуждение результатов

Первые ЛХС начали складываться в Центральной России в начале бронзового века, с приходом в регион носителей культур шнуровой керамики, представителями которых были племена фатьяновско-балановской этнокультурной общности [3], уже перешедших от присваивающего к производящему типу ведения хозяйства [1]. Ретроспективный анализ видов хозяйственной деятельности дает возможность выявить особенности природопользования этого периода. Это время (4100-3200 л.н.) приходится на среднесуббореальную фазу потепления, когда происходит резкая аридизация климата и новое распространение широколиственных лесов [11]. Климат становится суше, о чем свидетельствует пограничный горизонт в пересыхающих торфяниках, а уровень воды в реках падает: становятся доступными к освоению пойменные комплексы. Главным занятием поселенцев становится лесное скотоводство с разведением, сначала, свиней, а затем мелкого и крупного рогатого скота (основными видами животных, разводимых в то время). При этом охота и рыболовство было важной частью производственной деятельности, но носило подчиненный характер [2].

Первопоселенцы вели как полуоседлый образ жизни, так и имели длительно существовавшие стационарные поселения по берегам рек и озер.

Наиболее благоприятными пастбищными угодьями для свиней, крупного и мелкого рогатого скота являлись пойменные ПТК, покрытые преимущественно широколиственными с богатым наземным покровом лесами и имевшие достаточно и открытых мест – луговых прогалин и полян. Длительный выпас скота, особенно свиней, на одном месте приводит к полному уничтожению древесной растительности. Возможно, поселенцы, где огнем, где топором расчищали леса под новые пастбища. Локализация пастбищ преимущественно в поймах рек и приозерных низменностях приводила к появлению в морфологической структуре лесных ландшафтов в пойменных урочищах и местностях первых устойчивых элементов антропогенного происхождения – пойменных лугов. Таким образом у них сложилась ЛХС с пойменным скотоводством (агрогеосистема пастбищного типа с пойменными лугами и редколесьями), которая просуществовала вплоть до железного века [5]. В районах длительно существовавших поселений складывались также пастбищно-сенокосные ЛХС на делювиальных шлейфах, реже на материковых лугах, перелесках и в редирах.

По-видимому, постоянные переходы поселенцев на новые места в поисках пастбищ приводили к вовлечению в хозяйственный оборот все новых и новых участков. Лесовозобновление во многих пойменных ПТК при постоянном воздействии человека становилось практически невозможным. Все это привело к началу обезлесивания пойм рек и озер. Надо отметить, что местные племена перенимали у фатьяновцев прогрессивные формы ведения хозяйства, поэтому и после ухода фатьяновских племен из региона сложившаяся ПХС с пойменным скотоводством (агрогеосистемы пастбищного типа с пойменными лугами и редколесьями) просуществовала длительное время [5].

Нами предпринята попытка ретроспективной реконструкции первых ландшафтно-хозяйственных систем и составления соответствующей карты на участок в Бассейне Средней Протвы (территория Сатинской учебно-научной базы Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Боровский район Калужской области).

В Боровском районе зафиксировано около десятка находок, относящихся к этому периоду: каменные сверленные боевые топоры (Бердовка и Боровск), каменная сверленная булава и кремневые наконечники дротиков (Боровск, Ермолино) [7]. И, хотя, специальных археологических исследований бронзового века здесь не проводилось, по имеющимся находкам артефактов, можно судить, что исследуемая территория была, как и соседние районы, достаточно хорошо освоена и в это время.

Ретроспективный анализ природопользования и формирования хозяйственных систем проводятся на основе археологических и исторических данных о видах и способах ведения поселенцами хозяйства. На исследуемую территорию на основе ландшафтно-эдафического подхода и обработки данных спорово-пыльцевого анализа была составлена карта коренных (условно-восстановленных) ландшафтных комплексов рангом урочище [6]. На представленной карте контура урочищ показаны сплошными линиями (рис. 1).

Основу ландшафтно-эдафического подхода составляет разделение характеристик элементарных ландшафтов на признаки местоположения (относительно устойчивые параметры рельефа и подстилающих пород, определяющих режим увлажнения) и признаки состояний (более динамичные параметры, растительность и почвы). При этом границы современных урочищ, выявленные в ходе картографирования современного ландшафта, являются так называемым «жестким каркасом», предопределяющим пространственное размещение растительных сообществ и почвенных разностей.

При реконструкции природопользования важнейшей предпосылкой служит предположение, что природопользование в этот период было адаптивным окружающей природе на основе приспособления к местным условиям. Соответственно, в ландшафтных комплексах формировались особые виды природопользования, сопровождавшиеся со временем появлением хозяйственных угодий (видов землепользования) [5]. Выделение ландшафтных комплексов и ЛХС и проведение их границ основывается на принципе генетической однородности.

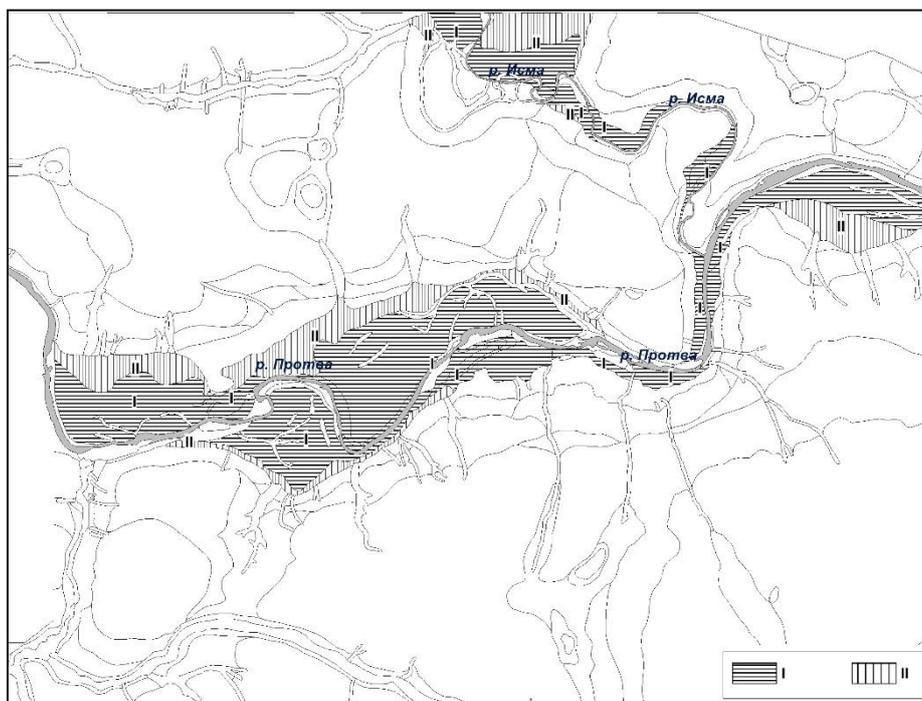


Рис. 1. Бронзовый век – 2-е тыс. до н.э. Ландшафтно-хозяйственные системы (Бассейн Средней Протвы). Масштаб 1:10000.

I. Пастбищно-луговые. Пастбищные луга на пойме и делювиальных шлейфах. II. Пастбищно-сенокосные. Делювиальные шлейфы, материковые луга, перелески и редины.

Выводы

С появлением первых ландшафтно-хозяйственных систем в морфологической структуре ландшафтов, в пойменных урочищах и местностях появляются первые устойчивые элементы антропогенного происхождения – агрогеосистемы пастбищного типа с пойменными лугами и редколесьями, которые, в силу преемственности ведения хозяйства на этих землях и в последующее время, просуществовали необычайно долго. Именно с

экстенсивным хозяйствованием того времени можно связать и начало обезлесения этих местообитаний.

Благодарности

Работа подготовлена по проекту ГЗ № ЦИТИС 121051300176-1 «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов»

Литература

- [1] *Крайнов Д.А.* Древнейшая история Волго-Окского междуречья. Фатьяновская культура. М.: Наука, 1972. 247 с.
- [2] *Краснов Ю.А.* Развитие земледелия и скотоводства в лесной зоне Евразии в III – начале I тысячелетия до н. э. // История крестьянства СССР. Т. 1. М.: Наука, 1987. С. 138-165.
- [3] Национальный атлас России в 4-х томах: Т. 4: История и культура. М.: Изд. ФГУП «ПКО «Картография», 2008.
- [4] *Низовцев В.А.* История хозяйственного освоения ландшафтов юго-западного Подмосковья. Домонгольский период. // Ландшафты Московской области и Подмосковья, их использование и охрана. М.: 1990. С. 18-29.
- [5] *Низовцев В.А.* История становления первых природно-хозяйственных систем Подмосковья. История изучения, использования и охраны природных ресурсов Москвы и Московского региона. М.: Янус-К, 1997. С. 72-81.
- [6] *Низовцев В.А.* Ландшафтно-историческое картографирование с применением ГИС-технологий лесных областей Русской равнины // Геология, геоэкология, эволюционная география. Т. IX: Сб. науч. тр. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. С. 167-173
- [7] *Прошкин О.Л.* Археология в изучении древнейшего прошлого Боровского края. Боровский краевед. Боровск, 1997. Вып. 7. С. 77-85.
- [8] *Романчук С.П.* Историческое ландшафтознание. Киев: РВЦ «Киевский университет». 1998. 146 с.
- [9] *Чепурко Н.Л.* Подходы к типологии природно-хозяйственных систем по характеру их участия в круговороте вещества // Вопр. геогр. 1981. Вып. 117.
- [10] *Швебс Г.И.* Концепция природно-хозяйственных территориальных систем и вопросы рационального природопользования. География и природные ресурсы. 1987. №4. С. 30-38.
- [11] *Хотинский Н.А.* Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977, 200 с.

S u m m a r y. An analysis of previous experience in nature management makes it possible to assess the role of previous anthropogenic impacts in the current state of the environment. The key research method is the systematic landscape-historical-archaeological method, which is the main method for both field and cameral study of the territory. In Central Russia, the first landscape-economic systems (LES) appear in the Bronze Age with the transition of local tribes from an appropriating economy to a producing economy. The basis of such systems is determined by the natural properties of landscapes and their morphological parts, which function inextricably with all inherent types of economic impact. Reconstructions of the original landscape structure and landscape management systems have been carried out for a number of key areas.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРУШЕНИЯ СКЛОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НАПОРА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ В ТАЛИКЕ

А.В. Остякова^{1,2}, М.В. Королёв³

¹ИВП РАН, г. Москва, alex-ost2006@ya.ru

²НИУ «МЭИ», г. Москва, OstiakovaAV@mpei.ru

³ИПРИМ РАН, г. Москва, m-korolev2009@yandex.ru

INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF SLOPE COLLAPSE UNDER THE ACTION OF HYDROSTATIC PRESSURE WHEN FILTERING IN TALIK

A. V. Ostiakova^{1,2}, M. V. Korolev³

¹Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow

²Moscow Power Engineering Institute, Moscow

³National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow

Аннотация. Рассматриваются причины и механизмы нарушения устойчивости склонов мёрзлых грунтов при повторном сезонном промерзании с поверхности оттаявшего грунта. Установлено, что при наличии талика между промерзающим с поверхности грунтом и подстилающим мёрзлым грунтом в талике могут возникать существенные гидростатические напоры, значительно влияющие на устойчивость склонов. Приводятся описание оборудования, методика и результаты экспериментов в грунтовом лотке по фильтрации воды в талике под слоем мёрзлого грунта.

Ключевые слова: мёрзлые грунты, фильтрация, поровое давление, механические характеристики грунтов, устойчивость склонов.

Введение

В связи с наблюдающимся в течение последних десятилетий потеплением климата в криолитозоне повсеместно наблюдается снижение отрицательных температур многолетнемёрзлого массива, увеличение глубины сезонного протаивания, образование в массиве таликов и связанные с этими процессами вследствие ухудшения механических характеристик грунтов деструктивные криогенные процессы. Механизмы этих процессов на сегодняшний день полностью не изучены. Наиболее изученным механизмом обрушения берегов является образование оползней из-за оттаивания грунтов с поверхности и смещения талых оползневых масс по границе с мёрзлой поверхностью. Такие процессы происходят в основном в весенне-летнее или осеннее время, когда оттаявшие с поверхности грунты переувлажняются за счёт инфильтрации талых или дождевых вод [1, 2]. Между тем, в последнее время стали известны случаи потери устойчивости склонов рек и водохранилищ, которые происходят в зимний период, при сезонном промерзании грунта [5, 6, 8], когда грунты поверхности склона частично промёрзли и создали водонепроницаемый экран для выхода грунтовых вод, фильтрующих в талом массиве, на поверхность, что привело к обводнению склона и возникновению в трещинах скалы и в порах оттаявшего грунта гидростатического напора, снижающего сопротивление сдвигу массива грунтов.

Интенсивность и объём обрушений зависят от многоводности года и суровости зимнего периода, поэтому оползневые процессы попеременно затухают и вновь активизируются. Следует отметить, что наличие растительности на склоне существенно сдерживает обрушение откосов по такой

схеме. Таким образом, можно констатировать, что оползневые явления на склонах, сложенных мёрзлыми грунтами, представляют серьёзную опасность и нуждаются в изучении. При всестороннем анализе перечисленных природных и техногенных аварий [3-5, 7] были предложены следующие подходы к исследованию этой актуальной проблемы:

- в расчётах устойчивости необходимо учитывать гидростатическое давление в порах и трещинах грунтовой воды на водонепроницаемый экран из мёрзлых грунтов;

- в расчётах устойчивости природных и техногенных склонов, сложенных мерзлыми и оттаивающими грунтами, следует использовать схему прислоненного откоса, так как известный и широко применяемый метод круглоцилиндрических поверхностей здесь не работает;

- при определении механических характеристик грунтов испытания целесообразно проводить в режиме ползучести-релаксации для оттаивающего водонасыщенного грунта.

Объекты и методы

Целью исследования является установление механизма обрушения откосов многолетнемёрзлых грунтов, с образованием таликов, из-за повышения порового давления фильтрующей под ледяным экраном воды путём проведения экспериментального исследования процесса фильтрации воды по таликам в береговых откосах под ледяным экраном, а также исследование влияющих на обрушение склонов параметров в условиях климатических изменений.

Задачи включают проведение экспериментов по исследованию фильтрации воды под мёрзлым и оттаивающим грунтовым экраном для оценки эффекта возникновения и изменения порового давления в фильтрующем слое.

Методика постановки эксперимента

Установка представляет собой грунтовый лоток прямоугольного поперечного сечения $0,195 \times 0,2$ м длиной 1,2 м с верхней ёмкостью для подачи и нижней ёмкостью для приёма фильтрующей воды. Лоток имеет прозрачную боковую стенку, может устанавливаться под углом к горизонту, оснащён пьезометрами, защищёнными от промерзания, и грунтовыми температурными датчиками, расположенными на разных глубинах по вертикали. Фильтрующая вода подкрашивается в различные цвета для фотофиксации кривой депрессии. Дно лотка металлическое и может подогреваться. На грунт может устанавливаться прямоугольный штамп с пригрузом. Имеется возможность присоединять динамометры.

В установленный горизонтально лоток послойно с уплотнением укладывался грунт (суглинок). Далее сверху грунт промораживался при температуре минус 7–10°C для образования экрана из мёрзлого грунта, а снизу для образования талика в грунте осуществлялся подогрев дна лотка. Далее лоток устанавливался под заданным углом, вода в верхней ёмкости подкрашивалась. Изменение гидростатического напора фильтрующей воды осуществлялось при помощи пьезометров. Мощность мёрзлого и талого слоя грунта устанавливалась визуально через прозрачные стенки лотка.

Были проведены следующие серии экспериментов:

1. по исследованию фильтрации воды по откосам (при различных углах откоса) в талом состоянии;
2. по фильтрации воды по талику под слоем мёрзлого грунта при различных углах откоса с естественным растеплением мёрзлого экрана (опыт проводился при положительных температурах) (рис. 1);

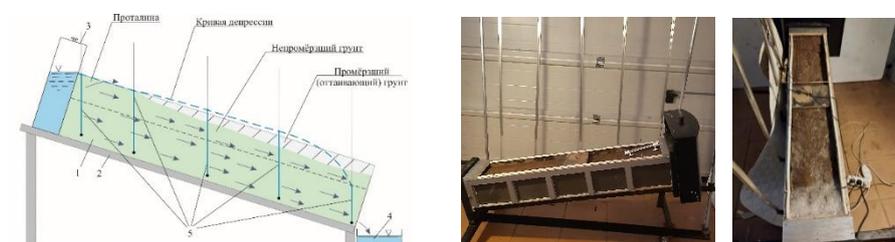


Рис. 1. Схема проведения опыта при положительных температурах с постепенным оттаиванием экрана мёрзлых грунтов и фото эксперимента.

3. при сохранении мёрзлого экрана и промерзании нижней части откоса (опыт проводился при отрицательной температуре и подогреве дна лотка для сохранения талика) (рис. 2);



Рис. 2. Схема опыта и фото испытаний при отрицательной температуре.

4. по определению давления на подпорную стенку слоя мёрзлого грунта, сползающего по границе с талым грунтом (рис. 3).



Рис. 3. Схема и фотоустановки для определения давления на подпорную стенку слоя мерзлого грунта с пригрузом, сползающего по границе с талым грунтом.

Дополнительно проводилась серия экспериментов по определению физико-механических характеристик грунта, в том числе определение угла внутреннего трения и удельного сцепления при различных значениях отрицательных температур и в процессе оттаивания в климокамере с помощью прибора ВСВ-25м.

Обсуждение результатов

Серия № 1. Фильтрация воды по талику (с подогревом лотка снизу). Опыт проводился при средней температуре плюс 2-5°C на поверхности грунта, угол откоса (наклона лотка) 11,5°, начальная мощность промёрзшего с поверхности грунта 0,06 м, площадь сечения незамёрзшего грунта 0,195×0,12 м. Средний расход 0,0044 м³/сут, скорость фильтрации $V_{\phi} = 0,188$ м/сут = $2,176 \times 10^{-6}$ м³/с, средняя скорость воды 0,0564 м/сут. Результаты эксперимента показали, что при фильтрации воды по талику происходит интенсивное таяние экрана из мёрзлого грунта, как с поверхности, так и особенно интенсивно с нижней границы экрана и талика. При этом гидростатический напор увеличивается, но по мере оттаивания ледяного экрана начинает уменьшаться за счёт разгрузки напорных грунтовых вод и выхода их на поверхность откоса.

Серия № 2. Фильтрация незамерзающей воды по талику без подогрева лотка. Опыт проводился при переменной температуре. Угол наклона лотка 19,5°. Начальная мощность промёрзшего слоя грунта 0,08 м. Площадь сечения незамерзшего слоя 0,19×0,1 м. Средний расход 0,001856 м³/сут = $2,145 \times 10^{-5}$ л/с.

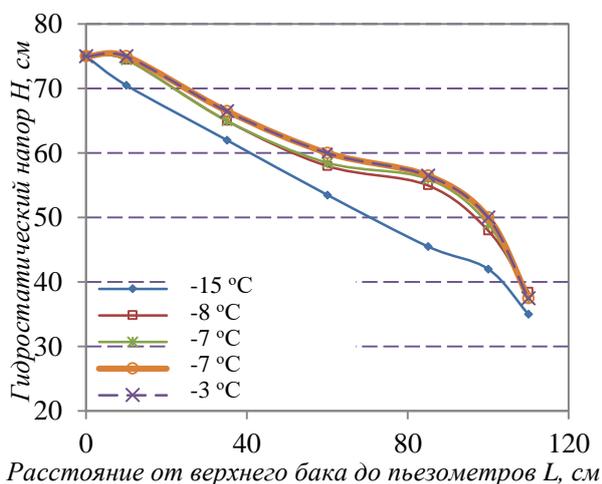


Рис. 4. Графики изменения гидростатического напора по длине при различной температуре.

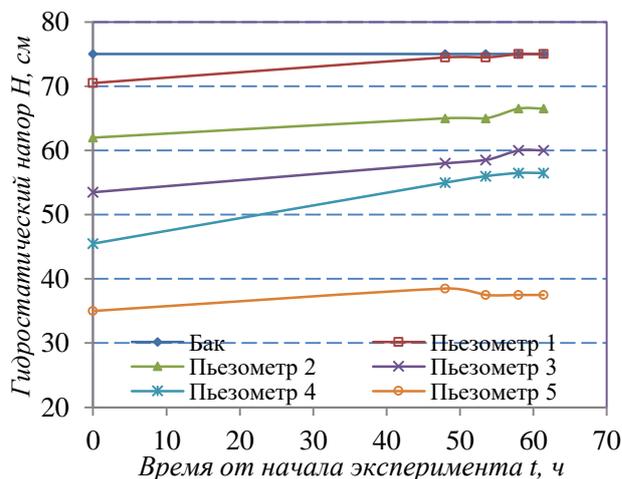


Рис. 5. Изменение гидростатического напора, измеренного пьезометрами, во времени, при различной температуре.

Результаты экспериментов показывают, что под экраном мёрзлых грунтов в грунтовых водах, фильтрующих по талику, со временем может возникать гидростатический напор. При промерзании талика в нижней части откоса величина напора возрастает (рис. 4, 5).

Серия № 3. Эксперименты по определению влияния гидростатического давления в талике под промёрзшим экраном мерзлого грунта на устойчивость склона (рис. 3). В процессе экспериментов менялись углы наклона экспериментального лотка (20°, 30° и 40°). Мощность экрана из замороженного сверху мёрзлого грунта 10 см. На поверхность мёрзлого грунта дополнительно укладывались гири общим весом 20 кг. В процессе опытов измерялись во времени усилия, воспринимаемое динамометром на упор, удерживающий экран мёрзлых грунтов, и с помощью пьезометров определялось гидростатическое давление в талике.

Уравнение равновесия мёрзлого слоя грунта можно представить в виде:

$$E = G \cdot \sin \alpha - (G \cdot \cos \alpha - p_w bl) \operatorname{tg} \varphi + clb,$$

где E – усилие на упор, регистрируемое динамометром; G – вес ледяного экрана и пригруза; α – угол наклона лотка; b – ширина лотка; l – длина лотка; φ и c – угол внутреннего трения и удельное сцепление оттаявшего слоя грунта; p_w – среднее значение гидростатического напора, определяемого по пьезометрам.

При решении системы из двух уравнений (при двух различных углах α , с учётом гидростатического давления) можно определить параметры условно мгновенной прочности и длительной прочности слоя оттаявшего водонасыщенного грунта под экраном из мёрзлых грунтов. Как показали расчёты, результаты такого определения параметров прочности хорошо сочетаются с результатами лабораторных исследований грунта на приборе ВСВ-25м. Результаты проведенных экспериментов приведены на рисунке 6.

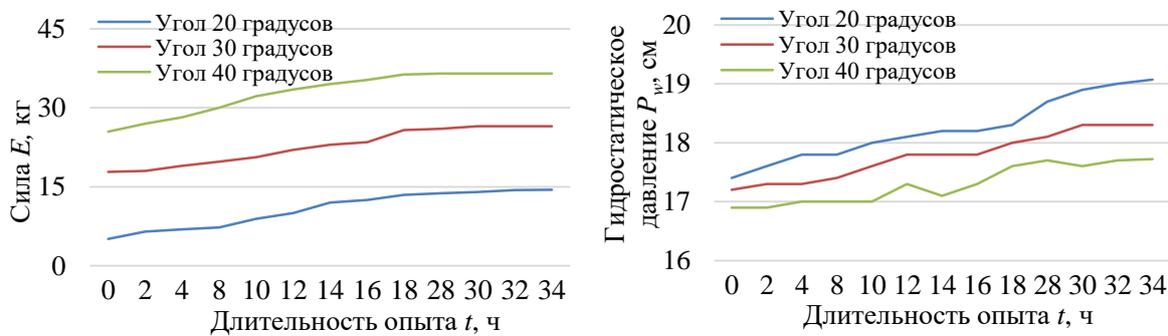


Рис. 6. Изменение действующей на массив оттаявшего под ледяным экраном грунта силы и гидростатического (пьезометрического) давления.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы госзадания Института водных проблем Российской академии наук № FMWZ-2022-0001 «Исследования процессов гидрологического цикла суши и формирования водных ресурсов, геофизических процессов в водных объектах и их бассейнах, формирования экстремальных гидрологических явлений и динамики гидрологических систем с учётом изменяющихся климатических условий и антропогенных факторов».

Выводы

Результаты экспериментов показывают, что при фильтрации воды под экраном из мёрзлых грунтов может возникать значительная величина гидростатического напора, негативно влияющая на устойчивость склона. При этом давление сползающего экрана мёрзлых грунтов на упор со временем увеличивается. Величина давления также зависит от угла наклона лотка. Исходя из вышеизложенного, представляется целесообразным при мониторинге потенциально опасных оползневых склонов осуществлять не только мерзлотные исследования по изменению температуры массива и наблюдения за смещениями грунта, но и устанавливать возможное наличие и образование таликов в мерзлых грунтах, (например, методами электроразведки), проводить геомеханические

исследования по установлению параметров прочности мёрзлых грунтов при различных значениях отрицательной температуры и при оттаивании (например, используя высокоэффективные разработки ИПРИМ РАН) и определять поровое давление при наличии талика.

Литература

- [1] *Булдович С.Н.* Оценка устойчивости многолетнемерзлых пород к техногенным воздействиям при освоении северных территорий России. Вестник РУДН. № 1. 2012. С. 47-60.
- [2] *Власов А.Н., Королёв М.В., Карнет Ю.Н., Мнушкин М.Г., Волков-Богородский Д.Б., Остякова А.В.* Расчётно-экспериментальные методы прогноза устойчивости характерных участков берегов Угличского водохранилища. В сб.: Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сб-к науч. тр.: посв. Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН. 2017. С. 137-142.
- [3] *Королёв М.В.* Развитие метода шарового штампа Н.А. Цытовича и динамометрического метода С.С. Вялова для определения параметров длительной прочности грунтов при различных температурах. Фундаменты. № 4, 2021. С. 4-9.
- [4] *Королёв М.В., Власов А.Н.* К вопросу о безопасной эксплуатации и эффективном мониторинге объектов в криолитозоне в условиях деградации мерзлоты. Сб. тр. научно-практ. конф. «Новое качество государственного строительного надзора в контексте реформирования контрольной и надзорной деятельности». М.: ГБУ ЦЭИИИС. 12 ноября 2021 г.
- [5] Примеры аварий сооружений в криолитозоне, связанные с деградацией мерзлоты / М.В. Королёв [и др.]. В кн.: Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли - 2021. Сб-к матер. Всерос. (национ.) науч.-практ. конф. М. 2021. С. 18-29.
- [6] *Махинов А.Н.* Оползень и цунами на реке Бурее 11 декабря 2018 года [Электронный ресурс] // Природа. 2019. № 4. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434706/Opolzen_i_tsunami_na_reke_Buree_11_dekabrya_2018_goda (дата обращения 22.12.2022).
- [7] *Остякова А.В.* Влияние гидростатического давления в подстилающих таликах мерзлых грунтов на обрушение склонов. В кн.: Современ. проблемы гидравлики и гидротехн. строительства. Сб-к тезисов докл. V Всерос. науч.-практ. семинара. М.: НИУ МГСУ, 2022. С. 110.
- [8] *Остякова А.В.* Инженерно-экологическая оценка береговых процессов на водных объектах (на примере Угличского водохранилища). Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10 (109). С. 1163-1171.

S u m m a r y . The causes and mechanisms of violation of the stability of the slopes of frozen soils during repeated seasonal freezing from the surface of thawed soil are considered. It has been established that in the presence of a thawed soil layer between the freezing surface soil and the underlying frozen soil, significant hydrostatic pressures can occur in the thawed soil layer, significantly affecting the stability of the slopes. The description of the equipment, methods and results of experiments in an inclined soil tray for filtering water in a thawed soil layer under a layer of frozen soil are given.

ТИПИЗАЦИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

И.М. Пятков

РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, vvvvv1a@mail.ru

CLASSIFICATION OF THE LAKE LADOGA SHORES USING SATELLITE IMAGES

I.M. Piatov

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. В работе было произведено изучение и картирование береговой зоны Ладожского озера с помощью различных методов: спутниковых снимков и полевых исследований. Предложен способ верификации данных спутниковых снимков с помощью результатов полевых наблюдений, для получения более достоверного результата. На основании синтеза полученных данных была составлена карта-схема Береговой зоны Ладожского озера. Были рассмотрены особенности отдельных частей береговой зоны Ладоги, указаны основные различия между северной, восточной, южной и западной частями.

Ключевые слова: Ладожское озеро, спутниковый снимок, ГИС, береговая зона, тип береговой зоны.

Введение

Ладожское озеро является одним из крупнейших озёр мира и служит источником пресной воды для Санкт-Петербурга и других городов Ленинградской области и Республики Карелии. Уникальность озера определяется не только его размерами и особенностями морфометрии озерной котловины, но и своеобразием гидродинамических процессов, происходящих в его акватории. Принимая во внимание площадь и размеры озера можно утверждать, что по ряду важных параметров процессы, происходящие в береговой зоне озера, более всего похожи на береговые процессы морей и океанов. Другим важным следствием масштабов озера является сложность изучения и мониторинга береговой зоны, для чего полезно использовать данные дистанционного зондирования Земли, в том числе и спутниковые снимки.

Объект и методы проведения работ

Объектом исследования была выбрана береговая зона Ладожского озера, которая представляет собой зону современного постоянного взаимодействия на границе суши и водоёма и включает в себя берег и подводный береговой склон [4].

Береговую зону Ладожского озера разделяют на северную (от г. Приозерска на западе до г. Питкяранта на востоке), восточную (от г. Питкяранта до северной границы Свирской губы), южную (от Свирской губы на востоке до западного замыкания бухты Петрокрепость) и западную (от бухты Петрокрепость до г. Приозерска) части. Такое районирование производится на основании морфологических различий, присущих берегам этих районов [1].

В основу данного исследования были положены как данные открытых источников (спутниковые снимки, публикуемые на сервисе Махаг), данные ранних исследований, данные полевых работ проводившихся автором летом 2020 г. и летом 2021 г. в северной части Ладожского озера с помощью маршрутной съемки. В ходе полевых работ было произведено 11 маршрутных

профилей общей протяженностью в 93 км, а также данные полученные с использованием БПЛА DJI Phantom2 с камерой GoPro-3. В результате был получен большой массив полевых данных, на базе которых составлялось описание типов береговой зоны и отмечалось их строение. Дальнейшая работа заключалась в том, чтобы сопоставить уже известные по результатам полевых наблюдений участки береговой зоны и спутниковые снимки. Это позволило соотнести изображение со спутникового снимка с результатами полевых наблюдений, опознать характерные особенности береговых типов, видимые на снимках, и отследить эти береговые типы там, где не хватает покрытия маршрутной съёмки. Дальнейшая обработка и картирование данных проводилось с помощью открытого программного пакета ГИС QuantumGIS.

Полученные результаты

По результатам проведённых работ была составлена карта-схема. Помимо полученных в текущем исследовании данных для составления карты использовались материалы ранее публиковавшихся работ, так классификация и названия типов берегов были выделены на основании карты-схемы типов берегов В.М. Анохина [2].

При рассмотрении обозначенных ранее районов береговой зоны Ладожского озера, можно отметить, что аккумулятивные берега преобладают в западной, южной и восточной частях озера, тогда как абразионные берега характерны для северной части Ладоги.

При составлении карты-схемы особое внимание было уделено северной части Ладоги, береговая зона которой представляется наименее картированной. При рассмотрении особенностей чередования береговых типов в этой части озера можно выделить некоторые закономерности. Так, в далеко вдающихся в материк фиардах абразионные берега уступают место аккумулятивным. Похожие процессы происходят и на островах – участки береговой зоны, обращенные к открытой воде, сформированы в результате абразионных процессов, тогда как участки береговой зоны, обращенные к матерiku, могут иметь абразионно-аккумулятивное или аккумулятивное происхождение.

Как известно преобладающий тип перемещения наносов в береговой зоне определяет тип береговой зоны. В зависимости от типа берега гидравлическое воздействие прибойного потока будет различным. В том случае, если берег имеет вид обрыва или уступа (клиф), то может происходить его разрушение прибоем – абразия берега. Если же берег является аккумулятивной наклонной поверхностью (пляж), то прибойный поток постепенно теряет скорость, после чего происходит сток воды под действием силы тяжести (откат) [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что береговая зона внутренних акваторий северной части Ладожского озера, по конфигурации прибойного потока, имеют сходство с восточной и западной частями Ладоги, так тут также преобладают аккумулятивные процессы.



- Берега, преобразованные озёрными процессами
- абразионно-аккумулятивные, сложенные валунно-глыбовыми отложениями, выровненные и мысы
 - ▒ аккумулятивные, созданные волновыми процессами, пляжевые
 - аккумулятивные, созданные устьевыми процессами, дельтовые
- Берега
- с ледниково-тектоническим расчленением — фиардовые и шхерные
- Другие берега
- ▨ заросшие, в т.ч. ветланды
 - техногенно-измененные

Рис. 1. Карта-схема типов берегов Ладожского озера (на основе [2]).

Отдельно следует отметить южную часть береговой зоны Ладоги, где также преобладает аккумуляция, но помимо этого для этой части характерны ветланды и высокая степень антропогенной нагрузки.

Выводы

В береговой зоне озера наблюдается преобладание аккумулятивных типов берегов. Абразионные берега, фиардовые и шхерные, локализованы в северной части озера, однако и здесь, в закрытых акваториях, встречаются берега аккумулятивного происхождения. Техногенно-измененные берега встречаются повсеместно, но главным образом они сосредоточены в южной и юго-западной частях береговой зоны.

Литература

- [1] Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Рос. акад. наук, Ин-т озероведения; под ред. С.А. Кондратьева. Москва: Российская акад. наук, 2021. 637 с.
- [2] Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О. Геоморфология и типизация берегов Ладожского озера по данным съемки беспилотного летательного аппарата. Геоморфология. 2019. 1. С. 25-37. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019125-37>
- [3] Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М: Мысль, 1991. 479 с.
- [4] Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М., Изд-во АН СССР, 1962. 52 с.

S u m m a r y. The study and mapping of the coastal zone of Lake Ladoga was carried out using various methods: satellite images and field work. A method for verifying satellite image data using field observation results is proposed to obtain a more reliable result. Based on the synthesis of the obtained data, a schematic map of the Coastal zone of Lake Ladoga was compiled. The features of individual parts of the coastal zone of Ladoga were considered, the main differences between the northern, eastern, southern and western parts were indicated.

ИЗМЕНЕНИЕ УВЛАЖНЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОПОРТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПОЛУОСТРОВ ЯМАЛ

А.Ю. Сидорчук, А.М. Тарбеева

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, fluvial05@gmail.com

HUMIDITY CHANGE IN THE TERRITORY OF THE NOVOPORTOVSKOYE FIELD ON THE YAMAL PENINSULA

A.Yu. Sidorchuk, A.M. Tarbeeva

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Аннотация. В бассейнах рек на юго-востоке Ямала произошло значительное уменьшение ширины русел рек. В верхних частях водосборов это уменьшение привело к зарастанию и деградации русел. Наиболее вероятной причиной этого является общее уменьшение увлажненности территории в недавнем прошлом.

Ключевые слова: морфология русел рек, уменьшение ширин рек, безопасность сооружений.

Введение

Для территории полуострова Ямал характерно наличие в речных долинах свежих следов уменьшения речного стока в недавнем прошлом. Этот вопрос был рассмотрен для западной части полуострова [1], где уменьшение речного стока проявилось в наличии на пойме и низких террасах фрагментов староречий с шагом излучин русла больше современных. В юго-восточной части Ямала выражены и будут исследованы иные индикаторы уменьшения стока воды. Поймы и низкие террасы рек Ямала активно используются под строительство объектов инфраструктуры газовых месторождений [2], их гидрологический режим имеет большое значение для степени безопасности как этих сооружений.

Объекты и методы

Объектами исследования являются речные бассейны рек Нго-Яха, Хорхы-Яха, Пясядэй-Яха и Верхняя Паюта-Яха (Сетная), где расположено Новопортовское нефтегазоконденсатное месторождение. Основным методом исследования является морфометрический – измерение ширин W древних и современных русел, шагов излучин этих русел L , а также площадей бассейнов F . Используются следующие морфометрические формулы:

$$L = a_0 F^{b_0} \quad (1)$$

$$W = a F^b \quad (2)$$

Обсуждение результатов

Зависимость шага излучин от площади водосбора для рек юго-восточного Ямала представляет собой параболу, близкую к квадратичной (рис. 1а), что обычно для большинства меандрирующих рек. На поймах и низких террасах этих рек имеются следы блуждания русла в виде староречий и характерного рисунка на сегментно-гривистой пойме, но размеры этих древних излучин мало отличаются от размеров излучин современного русла. В то же время зависимость ширины русла этих рек от площади водосбора существенно разная для верхних (треугольники на рис.1б) и нижних (квадраты) частей бассейнов. Для реки Пясядэй-Яха граница между этими частями проходит по площади водосбора ~ 35 км². В условиях относительно больших площадей водосбора (больше граничного) современная ширина русла реки более или менее соразмерна шагу излучин: отношение L/W около 10. В области площадей водосбора меньше граничного современная ширина русла реки несоразмерна шагу излучин: отношение L/W около 50. На этих узких руслах хорошо выражены вторичные формы (мелкие изгибы, четковидные расширения), которые указывают на существенную замедленность, если не отсутствие современных переформирований русла. В нижней части бассейнов эти признаки не проявляются. Ширина низкой поймы при площадях водосбора меньше граничного соразмерна шагу излучин и зависимости современных ширин русел от площади для больших водосборов (рис 1б, кружки). Скорее всего, низкая пойма представляет собой реликт древнего русла.

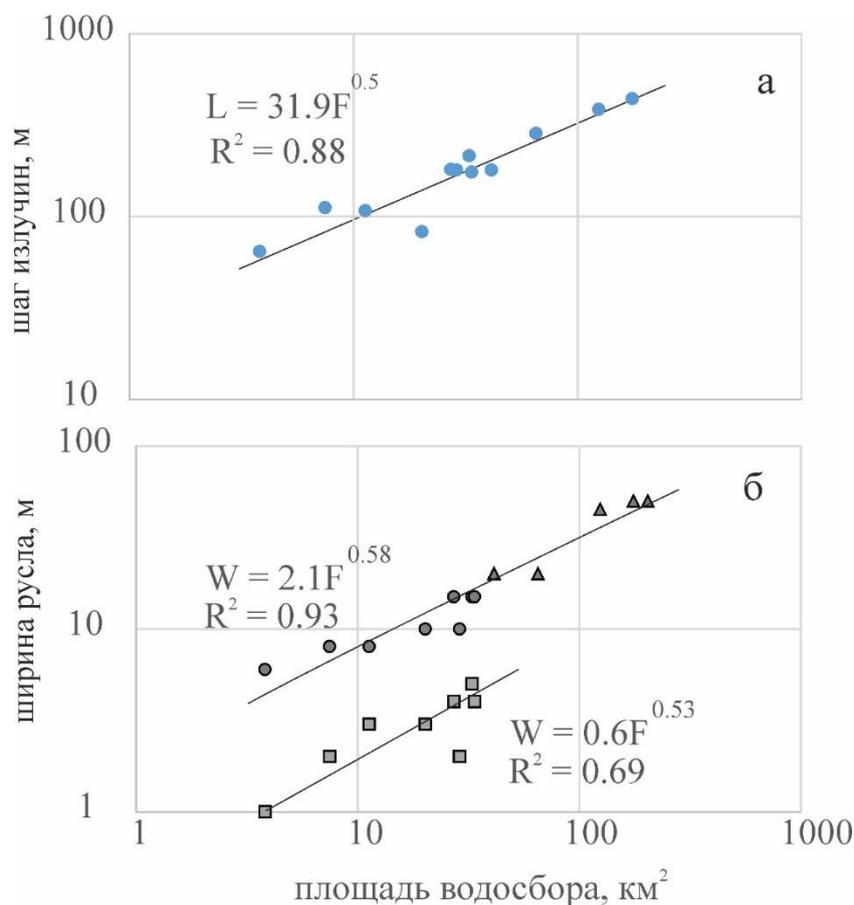


Рис. 1. Связь шагов излучин (а) и ширины русла (б) с площадью водосбора для реки Пясадэй-Яха (юго-восточный Ямал). Пояснения в тексте.

Для рек Западной Сибири установлена связь среднемаксимального расхода воды с шириной русла [3]:

$$Q_{\max} = 1.14W^{1.29} \quad (3).$$

Для граничного водосбора 35 км² на реке Пясадэй-Яха среднемаксимальный расход по формуле (3) будет 42 м³/с, а средний максимальный слой стока в период снеготаяния 105 мм/день. Современный максимальный слой стока средний за период 1985-2016 составляет 50-55 мм/день [4]. Уменьшение стока в половодье практически не повлияло на размеры излучин русла, можно говорить только о незначительном уменьшении шага излучин в самых низовьях рек. Ширина русел гораздо более чутко реагирует на изменение стока, так как меняется наполнение русла. На верхних участках рек она уменьшилась в среднем в 3.5 раза. В результате русла начали зарастать растительностью, местами произошла их полная деградация.

Выводы

В бассейнах рек юго-восточного Ямала произошло изменения морфологии русел за счет уменьшения стока воды, как среднегодового, так и максимального. Конечный эффект благоприятно сказался на возможностях размещения объектов инфраструктуры Новопортовского месторождений, так как существенно снизилась вероятность их подтопления и затопления водами половодья.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы (ГЗ) № 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем».

Литература

- [1] Сидорчук А. Ю., Тарбеева А. М. Признаки уменьшения речного стока на полуострове Ямал: предварительные данные // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года. Т. 1. Астерион. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена СПб, 2020. С. 358-361.
- [2] Губарьков А.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В. Криогенные процессы в естественных и техногенных условиях на Харасавэйском месторождении // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2012. № 4. С. 21-27.
- [3] Sidorchuk A. The large rivers of the past in West Siberia: Unknown hydrological regimen // *Water*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 258.
- [4] Matveeva T., Sidorchuk A. Modelling of surface runoff on the Yamal Peninsula, Russia, using ERA5 reanalysis // *Water*. 2020. Vol. 12, no. 8. P. 2099.

S u m m a r y. There has been a significant decrease in the width of river channels in the south-eastern Yamal. In the upper parts of the watersheds, this decrease has led to the overgrowth by vegetation and degradation of channels. The most probable reason for this is the general decrease in the territory's humidity in the past.

АУТИГЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЫСОКО И СРЕДНЕГОРНЫХ ОЗЕРАХ АЛТАЯ В УСЛОВИЯХ НИВАЛЬНОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА

В.Д. Страховенко, Г.И. Малов, Е.А. Овдина, В.И. Малов
ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, strahova@igm.nsc.ru

AUTIGENIC MINERAL FORMATION IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF HIGH-ALTITUDE LAKES OF ALTAI UNDER CONDITIONS OF NIVAL SEDIMENTOGENESIS

V.D. Strahovenko, V.I. Malov, E.A. Ovdina, G.I. Malov
IGM SB RAS, Novosibirsk

Аннотация. О геохимических процессах аутигенного минералообразования в озерных системах в условиях нивального седиментогенеза информации практически нет. Аналитическое изучение кернов донных отложений 14 озер Горного Алтая выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск (атомно-абсорбционным, рентгеноструктурным, сканирующей электронной микроскопией). Установлено, что воды озер пресные маломинерализованные гидрокарбонатные с вариациями катионного состава Са-Na. Донные отложения изученных озер характеризуются разными соотношениями органического вещества, минерального обломочного материала и аутигенных минералов (кальцит, гипс, пирит, иллит). Криогенные процессы определили кристаллизацию

гипсовых конкреций в озерах Аргамджи, Бирюзовое, М.Тархатинское и кальцитовых агрегатов в озерах Бирюзовое, Зерлюколь-нур и Б. Тархатинское в значительных объёмах.

Ключевые слова: донные отложения, озера, нивальный седиментогенез, минералогия, геохимия.

Введение

В высоко- и среднегорных районах Горного Алтая, в которых расположены изученные озерные системы криогенез проявляет себя как ведущий процесс формирования почв и грунтов, а также как ведущий геохимический процесс преобразования горных пород [2]. Исследователи отмечают, что при образовании ледяного покрова на озере, в подледной воде происходит увеличение ее минерализации, сопровождающееся дифференциацией солей между твердой (донным осадком) и жидкой (вода) фазами [1, 3, 6 и др.]. Цель работы – выявить особенности кристаллизации аутигенных минералов в донных отложениях высокогорных (> 2300 м над у.м.) и среднегорных (высота от 1800 до 2300 м. над у.м.) озер в условиях нивального седиментогенеза.

Объекты и методы

Исследовано 8 озер Укокского плоскогорья (оз Большое и Малое Тархатинское, оз. Зерлюколь-Нур, Красное, перевал Теплый ключ, Каровое, Калгутинское, Аргамджи высокогорные (высота > 2300 м. над у.м.)) и 6 озер Улаганской долины (оз. Бирюзовое, Подкова, Безымянное, Игисту-Кель, Мал. Узенкель, Чейбеккель среднегорные (высота от 1800 до 2300 м. над у.м.)). Отобраны 17 кернов донных осадков (247 проб). Изучаемая группа озер находится на территории современного горно-ледникового района, который представлен крупнейшими современными ледниками Сибири. Плоскогорье Укок образовано двумя котловинами – Бертекской и Тархатинской. Все котловины (Бертекская, Тархатинская, Улаганская) имеют относительно выровненные днища, слабо заболочены, с развитием термокарстового микрорельефа (где и располагаются озера) [3, 5 и др.].

Определение химического состава выполнены в ИГМ СОРАН и ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Макро- (Al, Fe, Ca, Mg, K, Na) и микроэлементный состав (Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, V, Hg, Be, Ba, Sr, Li, Th, U) проб определялся атомно-абсорбционным методом и ИСП-МС. Минеральный состав – рентгеноструктурным анализом на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Изучение морфологии, фазового и химического состава керна проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 TESCAN.

Обсуждение результатов

Согласно полученным данным воды озер пресные маломинерализованные (от 9 до 283 мг/л) гидрокарбонатные с вариациями катионного состава Ca-Na. В катионном составе вод озер Тархатинской котловины Ca значительно преобладает над Na, а в водах озер Калгутинской и Улаганской котловин количество Ca-Na сопоставимо, за исключением оз. Аргамджи. Воды озера

Аргамджи значительно отличаются от всех других исследуемых вод озер и сходны с составом вод источников «Джумалинские теплые ключи»: воды гидрокарбонатно-натриевые с повышенным содержанием серы [4]. Воды озер щелочные – (рН от 7,3 до 9,4), показатель Eh воды всех озер положительный, высокий, при высоком содержании растворенного в воде O₂.

Использование современного комплекса аналитических методов при изучении донных отложений озер позволило установить, что в составе донных отложений исследуемых озер в основном доминируют минералы обломочного материала при разных соотношениях с многочисленными створками диатомовых водорослей и аутигенных минералов (кальцит, гипс, пирит, иллит). Зольность донного осадка от озера к озеру сильно варьирует от 50% до 95%. В донных отложениях озер (Аргамджи, Красное, Б. и М. Тархатинское, *Зерлюколь-нур, Подкова, Бирюзовое*) с низкой зольностью на дифрактограммах присутствует ярко выраженное большое гало с максимумом в области 20°CuK_α. Интенсивность аморфного гало коррелирует с концентрацией диатомовых створок (аморфного кремнезема). Основными минералами обломочного материала являются полевые шпаты, кварц, мусковит, хлорит, акцессорные (рутил, титанит, апатит, циркон, магнетит, ильменит) и их состав отвечает составу минералов горных пород площадей водосбора. Важным фактором проявления криогенном воздействии на горные породы является в основном усредненный гранулометрический состав минералов (пелитовая, алевропелитовая размерность, слабо окатанная морфология зерен) (рис. 1). Аутигенные агрегаты в донных отложениях всех озер сформированы из аморфного кремнезёма диатомовых скелетов, фрамбоэдров и отдельных кристаллов пирита (рис. 1), что указывает на восстановительные условия осадкообразования, и агрегатами тонкочешуйчатого иллита (размер около 1 до 2 мкм) (рис. 1а,б, в, г), которые отличаются от состава крупночешуйчатых пластинок хлорита, слюд (от 3 мкм до 15 мкм) значительным преобладанием железа над магнием (соотношение Fe:Mg колеблется от величины 4:1 до 7:1). Донные отложения озера Аргамджи на 30% представлены конкрециями гипса радиально-лучистого строения с сильной кавернозностью, обусловленной футлярным строением пластинок (рис. 2 а, б). Аналогичные конкреции гипса встречены в донных отложениях оз. М. Тархатинское и Бирюзовое, но в значительно меньшем количестве (рис. 2 в). В центральной части конкреций - пустота, заполненная иногда зернами кальцита, иногда створками диатомей в сростании с мелкими кристалликами пирита или тонкочешуйчатого иллита. Донные отложения Бирюзовое в верхней части разреза на 80% сформированы аутигенными выделениями кальцита с футлярной формой кристалликов (рис. 2 г). В донных отложениях оз. Зерлюколь-нур и Б. Тархатинское также присутствуют мелкие зерна и друзовые агрегаты кальцита (рис. 2 д). Зерна кальцита имеют ромбоидальную форму с расщепленными или зазубренными краями размерами от 1 мкм до 5 мкм. В донном осадке озер Красное, М. Тархатинское отмечаются отдельные удлиненные кристаллы и друзы барита (рис. 2 е) и оз. Игисту-куль одиночные крупные кристаллы галита (рис. 2 ж).

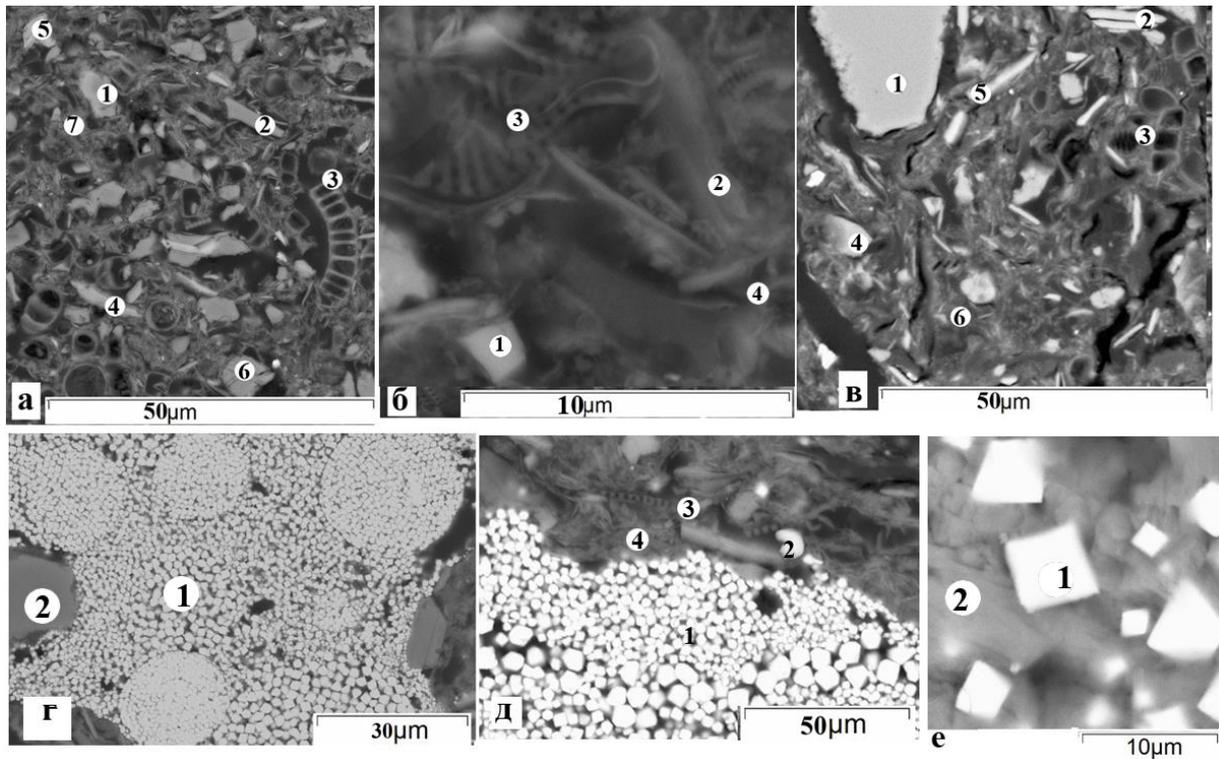


Рис. 1. Микрофотографии, выполненные с использованием СЭМ, донных отложений озер Теплый ключ (а), Игисту-кель (б), М.Тархатинское (в, е), Красное (г), Безымянное (д): (а) зол-ть осадка 90% 1 – зерно кварца, 2 – пластинка мусковита, 3 – скелеты и обломки панцирей диатомовых, 4 – крупный агрегат хлорита ($Mg \geq Fe$), 5 – зерно альбита, 6 – зерно кпш, 7 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (б) зол-ть осадка 61% 1 – зерно кварца, 2 – пластинка мусковита, 3 – скелеты и обломки панцирей диатомовых, 4 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (в) зол-ть осадка 60% 1 – зерно кварца, 2 – пластинка мусковита, 3 – скелеты и обломки панцирей диатомовых, 4 – зерно альбита, 5 – чешуйчатый агрегат хлорита ($Mg \geq Fe$), 6 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (г) золь-ть 74% 1 – фрамбоэдры и кристаллики пирита, 2 – зерно кварца; (д) золь-ть 68% фрамбоэдры и кристаллики пирита, 2 – пластинка мусковита, 3 – скелеты и обломки панцирей диатомовых, 4 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (е) 1 – футлярные мелкие кристаллы гипса с 2 – кристаллами пирита.

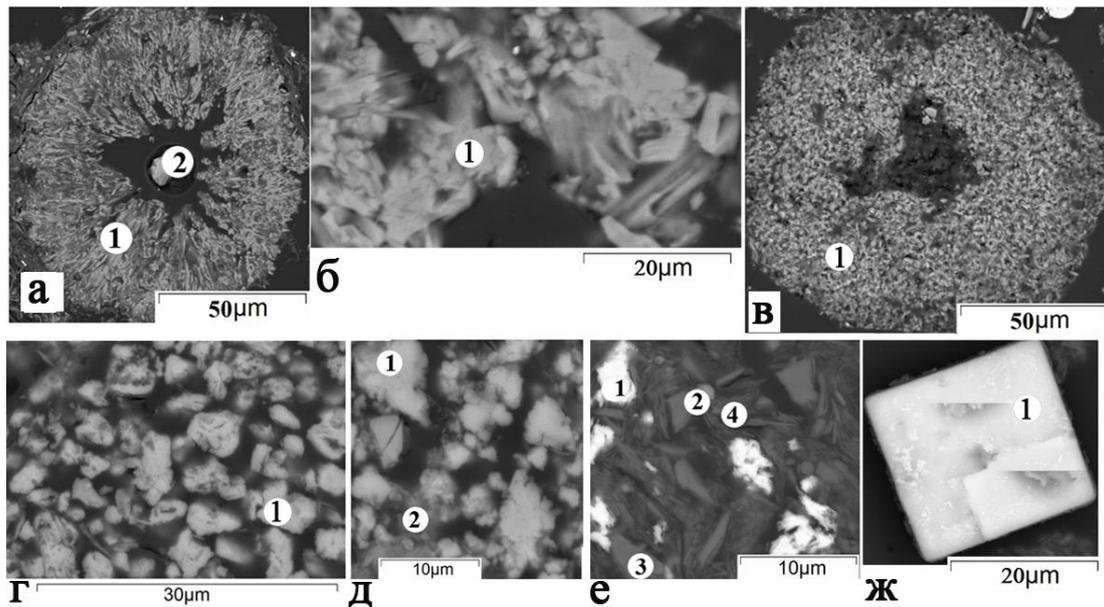


Рис. 2. Микрофотографии, выполненные с использованием СЭМ, донных отложений озер Аргамджи (а, б), Бирюзовое (в, г), М. Тархатинское (д), Красное (е), Безымянное (д), Игисту-кель (ж): (пояснения к рисунку на следующей странице – ред.)

(а) 1 – конкреция гипса радиально-лучистого строения с центром, 2 – представленным кристаллом кальцита; (б) 1 – футлярная форма пластинок гипса; (в) 1 – конкреция гипса радиально-лучистого строения; (г) 1 – футлярные кристаллы кальцита; (д) 1 – зерна кальцита ромбоидальной форма с расщепленными краями, 2 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (е) 1 – удлиненные зерна и друзы барита, 2 – зерно кварца, 3 – пластинка мусковита, 4 – микрочешуйчатый агрегат иллита ($Mg \ll Fe$); (ж) 1 – кубический кристалл галита.

Выводы

Согласно полученным данным, донные отложения изученных озер характеризуются разными соотношениями органического вещества, минерального обломочного материала и аутигенных минералов (кальцит, гипс, пирит, иллит). В целом состав обломочной фракции донных отложений озер схож и наследует геохимический и минеральный состав терригенного материала, поступающего в водоем со снеготалыми и дождевыми потоками, ледовым и эоловым переносом с водосборных территорий в условиях господства криогенных процессов. Донные отложения изученных озер отличаются составом тонкочешуйчатых, спутанно-волоконистых агрегатов иллита, в составе которого количество железа, в отличие от горных пород, почв водосборных площадей, значительно возрастает, и ассоциацией аутигенных минералов. В условиях нивального седиментогенеза часть агрегатов слюд, привносятся в воды озер в деградированном состоянии. В конечном водоеме стока в период его промерзания данные зерна совместно с аморфными агрегатами железа могут агрегировать, что и приводит к образованию железистых разновидностей иллита. При криогенном процессе парагенетическая ассоциация аутигенных минералов зависит от исходного химического состава вод, количества органического вещества (анаэробные условия), глубины водного столба и высоты расположения котловины озера над уровнем моря (чем выше находится котловина и более мелководнее озеро, тем выше скорости изменения абсолютных значений температур). Интегрированная совокупность данных факторов определила возможность кристаллизации гипсовых конкреций в озерах Аргамджи, Бирюзовое, М. Тархатинское и кальцитовых агрегатов в озерах Бирюзовое, Зерлюколь-нур и Б. Тархатинское в значительном объеме при пресном составе вод.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00111, <https://rscf.ru/project/23-27-00111/>».

Литература

- [1] Андрейчук В.Н., Кадебская О.И., Чайковский И.И. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры. Сосновец-Пермь: Силезский университет – Горный Институт УрО РАН, 2013. 128 с.
- [2] Криогенез современных и позднелепистоценовых отложений Алтая и перегляциальных областей Европы / В.Н. Конищев, М.П. Лебедева-Верба, В.В. Рогов, Е.Е. Сталина. Москва: ГЕОС, 2006. 128 с.

- [3] Новейшие данные об оледенении северного склона массива Таван-Богдо-Ола (Алтай) / Ганюшкин Д.А., К.В. Чистяков, И.В. Волков, Д.В. Банцев, Е.П. Кунаева, Н.Ф. Харламова // Лёд и Снег. 2017. Т. 57. № 3. С. 307-325.
- [4] Паничев А.М., Барановская Н.В., Вах Е.А. Новые данные по химическому составу вод Джумалинского геотермального источника, Горный Алтай, Россия//Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2022. № 4. С. 137-143.
- [5] Укок (прошлое, настоящее, будущее) / Рудой А.Н., Лысенкова З.В., Рудский В.В., Шишин М.Ю. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. 172 с.
- [6] Фотиев С.В. Дискуссионные проблемы геокриологии: обзор достижений // Криосфера Земли. 2020. т. XXIV. № 3. С. 3-17.

S u m m a r y. There is practically no information about the geochemical processes of autigenic mineral formation in lake systems under conditions of nival sedimentogenesis. The analytical study of the cores of bottom sediments of 14 lakes of the Altai Mountains was carried out in the IGM and Analytical Center for multi-elemental and isotope research SB RAS, Novosibirsk (atomic absorption, X-ray diffraction, scanning electron microscopy). It has been established that the fresh waters of the lakes are low-mineralized bicarbonate with variations in the cationic composition of Ca-Na. The bottom sediments of the studied lakes are characterized by different ratios of organic matter, mineral detrital material and authigenic minerals (calcite, gypsum, pyrite, illite). Cryogenic processes have determined the crystallization of gypsum nodules in the lakes Argamdzhi, Biryuzovoye, Small Tarkhatinskoye and calcite aggregates in the lakes Biryuzovoye, Zerlyukol-nur and Large Tarkhatinskoye in significant amount.

СОСТАВ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ РОГАТКОВЫХ РЫБ В ПРИБРЕЖЬЕ О-ВА СТАРИЧКОВ ЧЕРЕЗ ДВА ГОДА ПОСЛЕ ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРОСЛЕЙ ОСЕНЬЮ 2020 Г.

А.М. Токранов

КФ ТИГ ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, tok_50@mail.ru

SPECIES COMPOSITION AND RELATIVE ABUNDANCE OF THE SCULPINS (COTTIDAE) IN THE COASTAL ZONE OF STARICHKOV ISLAND TWO YEARS AFTER HARMFUL ALGAL BLOOM IN AUTUMN 2020

A.M. Tokranov

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

Аннотация. Приведены данные о составе и относительной численности рогатковых рыб (Cottidae) в прибрежье о-ва Старичков (Авачинский залив) по прошествии двух лет после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. Показано, что видовой состав рыб этого семейства здесь остался практически прежним, но численность его представителей существенно сократилась, в связи с их отходом на большие глубины.

Ключевые слова: рогатковые, видовой состав, относительная численность, Авачинский залив.

Введение

Осенью 2020 г. в прибрежных водах Южной Камчатки сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, вызвавшая массовую гибель донных

морских организмов [7], для объяснения которой выдвигались самые различные гипотезы – антропогенная, техногенная, вулканогенная и др. Прибывшие на полуостров в октябре 2020 г. специалисты различных российских исследовательских центров и природоохранных организаций провели совместно с камчатскими учёными довольно обстоятельное обследование прибрежной акватории, пытаясь выяснить причины и последствия произошедшего события. После анализа всех собранных данных, большинство из них пришли к заключению, что главной причиной возникшей неблагоприятной экологической обстановки стало природное явление, называемое «красным приливом» или вредоносным цветением водорослей (ВЦВ), вызванное бурным развитием токсичных одноклеточных водорослей *Karenia* spp. [9]. Подобные случаи массовой гибели гидробионтов в зоне верхней сублиторали Южной Камчатки отмечали и ранее [2, 3]. Однако в 2020 г. это природное явление проявилось более заметно и вызвало общественный резонанс, в связи с чем, возникла необходимость оценки степени его воздействия на представителей различных групп флоры и фауны, в том числе, на обитающих в прибрежной зоне рыб, одними из наиболее типичных среди которых являются рогатковые или бычки (семейство Cottidae). Цель данной работы – на основании анализа результатов контрольных удебных обловов, выполненных в летние месяцы 2021-2022 гг. в прибрежье расположенного в Авачинском заливе южнее Петропавловска-Камчатского о-ва Старичков, получить представление о видовом составе и относительной численности здесь рогатковых рыб по прошествии двух лет после ВЦВ осенью 2020 г.

Объекты и методы исследований

Материалом послужили результаты изучения видового состава и относительной численности рогатковых рыб в прибрежье о-ва Старичков (Юго-Восточная Камчатка) с помощью 6 контрольных обловов, выполненных удебными снастями на глубинах от 5 до 20 м в июне-августе 2021 и 2022 гг. Информация за прошлые годы [8] позволила сравнить видовой состав и относительную численность рогатковых рыб в прибрежье этого острова до и после воздействия на них неблагоприятной экологической обстановки осенью 2000 г.

Обсуждение результатов

В результате выполненных в период с июня по сентябрь 2021 и 2022 гг. контрольных удебных обловов рыб, в прибрежье о-ва Старичков на глубинах от 5 до 20 м зарегистрировано 11 представителей ихтиофауны из 5 семейств [5]. Но их основу формировали 5 видов только одного из них – рогатковых или бычков (Cottidae) (табл. 1), доля которых составляла 45,5% от общего числа выловленных видов рыб, тогда как остальные 4 семейства были представлены всего лишь одним или двумя видами.

Таблица 1. Видовой состав рогатковых рыб в прибрежной зоне о-ва Старичков в летние месяцы в разные годы по данным контрольных учебных обловов

Вид	Годы		
	1998-2006*	2021	2022
<i>Enophrys diceraus</i> (Pallas, 1810) – двурогий бычок	+	+	+
<i>Hemilepidotus gilberti</i> Jordan et Starks, 1904 – пёстрый получешуйник	+	+	+
<i>H. jordani</i> Bean, 1881 – белобрюхий получешуйник	+	+	-
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i> (Pallas, 1814) – многоиглый керчак	+	+	+
<i>M. stelleri</i> (Tilesius, 1811) – мраморный керчак	+	+	+
Общее количество видов	5	5	4

*По: [8]

Однако, если видовой состав представителей ихтиофауны (в том числе, сем. Cottidae) в учебных уловах в прибрежье о-ва Старичков спустя два года после возникновения неблагоприятной экологической обстановки остался практически тем же [6], то относительная численность разных видов рыб существенно изменилась. Как наглядно свидетельствуют приведённые в таблице 2 данные, в 2021-2022 гг. доминирующим видом в учебных уловах здесь в летние месяцы, по-прежнему, оставался зайцеголовый терпуг *Hexagrammos lagocephalus*, мигрирующий в летние месяцы в прибрежную зону на нерест, происходящий в августе-сентябре. Но если в предшествующие ВЦВ годы общая доля рогатковых в учебных уловах в июне-августе варьировала в пределах 48,6-68,4% по численности, то в 2021 г. она сократилась до 17,6, а в 2022 г. – до 2,5% по численности, хотя ни осенью 2020 г., ни в последующем массовой гибели этих рыб нигде в прибрежье не зарегистрировано.

Таблица 2. Относительная численность различных видов рыб в прибрежной зоне о-ва Старичков в июне-августе в разные годы по данным контрольных учебных обловов

Семейство, вид	Доля в уловах, в % по численности			
	Июнь 1998 г.*	Август 2004 г.*	Июль 2021 г.	Июнь-июль 2022 г.
Сем. Gadidae <i>Gadus chalcogrammus</i>	-	-	2,9	-
Сем. Sebastidae <i>Sebastes glaucus</i>	-	-	2,9	21,5

Сем. Hexagrammidae <i>Hexagrammos lagocephalus</i>	47,2	31,6	47,2	74,9
<i>Pleurogrammus monoptygius</i>	2,8	-	2,9	0,5
Сем. Cottidae, в том числе:	48,6	68,4	17,6	2,5
<i>Enophrys diceraus</i>	1,4	21,0	2,9	0,5
<i>Hemilepidotus jordani</i>	1,4	-	-	-
<i>H. giberti</i>	9,7	-	5,9	0,5
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	12,5	47,4	2,9	0,5
<i>M. stelleri</i>	23,6	-	5,9	1,0
Сем. Hemitripterae <i>Hemitripterus villosus</i>	-	-	-	0,5
Сем. Pleuronectidae <i>Lepidopsetta polyxystra</i>	1,4	-	23,6	0,5
<i>Platichthys stellatus</i>	-	-	2,9	-
Всего, экз.	72	19	34	195

*По: [8]

Анализ результатов водолазных наблюдений, сопровождавшихся подводной фото- и видеосъёмкой, позволяет дать следующее объяснение значительному сокращению численности рыб сем. Cottidae (а также представителей таких семейств как Hemitripterae и Liparidae) в прибрежье о-ва Старичков и других участков Авачинского залива по прошествии двух лет после воздействия ВЦВ осенью 2020 г. Поскольку крупные представители данных семейств, являющиеся хищниками-засадчиками (многоиглый *Myoxocephalus polyacanthocephalus*, мраморный *M. stelleri* керчаки и волосатый бычок *Hemitripterus villosus*) или бентоихтиофагами (пёстрый *Hemilepidotus gilberti* и белобрюхий *H. jordani* получешуйники) [4], традиционно используют покрывающие донный субстрат губки, гидроиды, мшанки и других обрастателей для маскировки во время добычи пищи, а многие мелкие виды сем. Cottidae и Liparidae – в качестве убежища, то массовая гибель представителей этих групп беспозвоночных [1, 7] лишила их такой возможности. А потому они были вынуждены сместиться на большие глубины, где беспозвоночные-обрастатели практически не подверглись воздействию ВЦВ, в связи с чем, донные сообщества сильно не изменились. Косвенно это подтверждают результаты контрольных обловов, выполненных на глубине более 30-40 м.

Заключение

Результаты контрольных учебных обловов рыб свидетельствуют, что видовой состав сем. Cottidae в прибрежье о-ва Старичков спустя два года после ВЦВ остался практически тем же, но относительная численность представителей

данного семейства существенно сократилась. Поскольку крупные виды рогатковых, являющиеся хищниками-засадчиками (многоиглый и мраморный керчаки) или бентоихтиофагами (пёстрый и белобрюхий получешуйники), используют покрывающие донный субстрат губки, гидроиды и мшанки для маскировки во время добычи пищи, а многие мелкие виды - в качестве убежища, массовая гибель животных-обрастателей осенью 2020 г. лишила их такой возможности, и они были вынуждены сместиться на глубины свыше 30-40 м, где бентосные организмы практически не подверглись воздействию ВЦВ, в связи с чем, донные сообщества сильно не изменились.

Существенное увеличение доли в удебных уловах широколобого морского окуня *Sebastes glaucus* (с единичных поимок в годы, предшествующие ВЦВ, до 21,5% по численности в 2022 г.) и зайцеголового терпуга (с 31,6-47,9% в 1998-2004 гг. до 74,9% по численности в 2022 г.), на наш взгляд, обусловлено тем, что из-за значительного сокращения численности в прибрежье о-ва Старичков представителей сем. Cottidae, двум этим видам, скрывающимся в расщелинах среди лишившихся обрастаний в виде губок и других донных беспозвоночных подводных валунов и скальных выходов, стало гораздо легче заметить наживку и успеть схватить её.

Литература

- [1] *Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э.* Последствия замора, вызванного вредоносным цветением водорослей осенью 2020 г. у берегов Камчатки, для гидробионтов в сублиторальной зоне по прошествии двух лет // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер. XXIII межд. науч. конф., посвящ. 130-летию со дня рождения одного из первых камч. ученых-натуралистов, краеведа и педагога П.Т. Новограбленова. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2022, С. 178-182. DOI: 10.53657/9785961004229_178
- [2] *Сидоров К.С., Акимов С.Е.* Полигонные работы по мониторингу прибрежных сообществ в Командоро-Камчатском районе за 1987 г. // Тез. докл. III Всесоюзн. конф. по морск. биол. Киев: АН УССР, 1988, Ч. I, С. 288-289.
- [3] *Сидоров К.С., Бурдин А.М.* Исследование кормовых ресурсов камчатской популяции калана // Научно-исслед. работы по морск. млекопитающим сев. части Тихого океана в 1984/85 г. М.: ВНИРО, 1986, С. 107-116.
- [4] *Токранов А.М.* Трофические группировки рогатковых рыб (Cottidae) в прикамчатских водах // Принципы экологии (электронный журнал), 2019, №3(33), С. 101-110. DOI: 10.15393/j1.art.2019.9662
- [5] *Токранов А.М.* Состав удебных уловов рыб в прибрежных водах юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. // Трёшниковские чтения-2022: Современная географ. картина мира и технологии географ. образования: Матер. всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием (14-15 апреля 2022 г., Ульяновск). Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2022а, С. 174-175. DOI: 10.33065/978-5-907216-88-4-2022-174-175

- [6] *Токранов А.М.* Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. // Вестник КамчатГТУ, 2022б, Вып. 59, С. 280-288. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-59-38-48
- [7] *Токранов А.М., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Санамян Н.П., Санамян К.Э., Усатов И.А.* Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов // Тр. X Междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (Maresedu-2021)». Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021, Т. II (III), С. 93-96.
- [8] *Токранов А.М., Шейко Б.А.* К познанию ихтиофауны прибрежных вод острова Старичков // Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. Тр. КФ ТИГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009, Вып. VIII, С. 250-262.
- [9] *Orlova T.Yu., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V., Efimova K.V., Selina M.S., Morozova T.V., Stonik I.V., Kachur V.A., Karpenko A.A., Vinnikov K.A., Adrianov A.V., Iwatari M.* A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Algae, 2022, Vol. 120, Article 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>

S u m m a r y. Data on the species composition and relative abundance of the sculpins (Cottidae) in the coastal area of the Starichkov Island (Avacha Gulf) two years after harmful algal bloom in autumn 2020 are provided. It is shown that the species composition of fish of this family has remained practically the same here, but the number of its representatives has significantly decreased due to their retreat to great depths.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИОСИСТЕМЫ БЕЛОГО МОРЯ

А.В. Толстиков¹, И.А. Чернов², В.Н. Баклагин¹, Н.Е. Галахина¹

¹*ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, alexeytolstikov@mail.ru,*

²*ИМПИИ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, iachernov@yandex.ru*

NUMERICAL SIMULATION OF SIMPAGIC ECOLOGY OF THE WHITE SEA

A. V. Tolstikov¹, I. A. Chernov², V. N. Baklagin¹, N. E. Galakhina¹

¹*Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk*

²*Institute of Applied Mathematical Research of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk*

Аннотация. В основу исследования положено термогидродинамическое и биогеохимическое моделирование с помощью программного комплекса JASMINE, с разработанным специально для этой цели блоком криосистемы. На программном комплексе выполняются численные эксперименты для изучения связанных с потеплением изменений характеристик морского льда и морских экосистем на акватории Белого моря за многолетний период, а также оценивается чувствительность компонент модели по отношению к вариациям внешних условий. Сложный процесс образования ледяного покрова и поэтапного очищения Белого моря ото льда является в модели адекватным. Результаты сравнивались со спутниковыми изображениями нескольких ресурсов.

Ключевые слова: численное моделирование, криосистема, Белое море, JASMINE.

Введение

Численное моделирование крупных водоемов с использованием высокопроизводительных вычислительных средств в последние годы ускоренно развивается. Используются трехмерные бароклинные комплексные модели, описывающие динамику и термодинамику вод и льда, эволюцию термохалинных полей, уровня моря и т.п. Для изучения динамики морского льда в Белом море нами развивается численная модель JASMINE, основанная на конечно-элементной модели Северного Ледовитого океана (FEMAO) [2] (см. также ссылки в ней). Эта модель [3-5] способна воспроизводить трехмерную скорость течений, пространственную и временную изменчивость температуры воды, солености и уровня моря. Компоненты пелагической экологии и криосистемы сопряжены с гидродинамической моделью и могут воспроизводить потоки вещества между различными функциональными типами планктона, растворенного и взвешенного вещества, отложений, биологически активного слоя морского льда и т.д. [3]. Шесть рек (Северная Двина, Онега, Мезень, Кемь, Ковда и Нижний Выг) описываются среднемесячным стоком из базы данных [1]. Реки представляют собой особые проливы с заданным расходом слабоминерализованной воды.

Подмодель динамики морского льда в составе JASMINE основана на эллиптической вязкопластической реологии и унаследовала численный метод m -EVP, аналогичный FESIM [6], но отличается от нее многокатегориальным описанием толщины льда. Схема торосистости морского льда основана на схеме [8] с экспоненциальной функцией распределения толщины льда для толстого льда, являющейся опцией последних версий модели CICE [7].

Спутниковые данные предоставляют ценную информацию о распределении морского льда из-за высокого пространственного и временного разрешения, поэтому важны для верификации модели. Имеется большое количество ресурсов спутниковых данных о сплоченности морского льда в Белом море, они рассмотрены нами в [4].

Регион исследований, объекты и методы

Модельный комплекс JASMINE описан в работах [3-5].

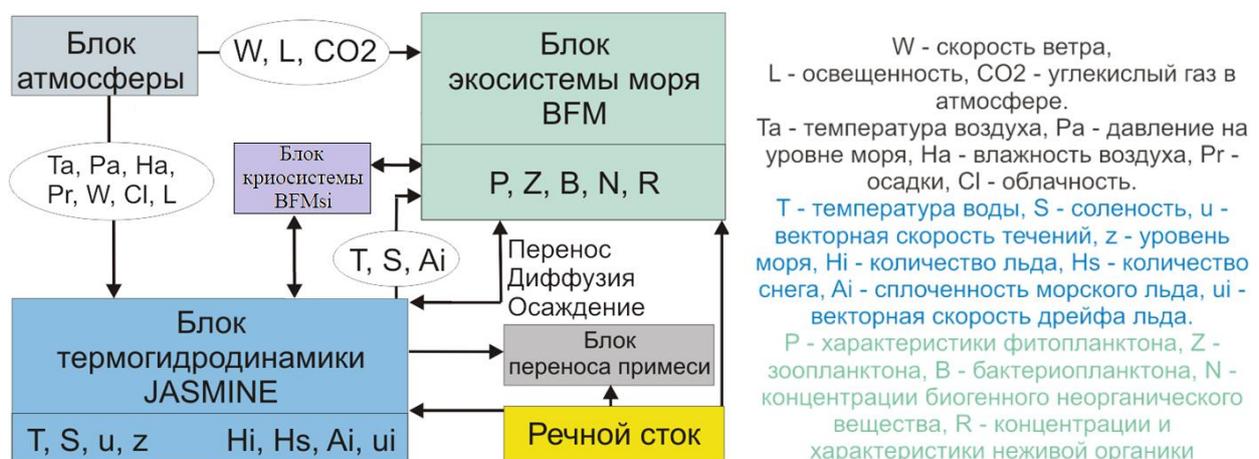


Рис. 1. Схема блоков программного комплекса JASMINE.

Он позволяет воспроизводить поля течений, температуры и солености, различных характеристик морского льда. Рабочее разрешение для Белого моря улучшено по сравнению с нашими предыдущими работами [3] до 3 км по горизонтали (море вписано в квадрат 200 на 200 точек), сетки по вертикали насчитывают 40 горизонтов (используется z-координата и свободная поверхность моря). Шаг по вертикальной оси 5 м, на глубинах более 150 метров шаг составляет 10 м.

Модельный комплекс JASMINE удовлетворительно воспроизводит динамику и биогеохимические процессы в Белом море, температурные и соленостные поля, фронтальные зоны согласуются с данными измерений [3]. Все модельные данные верифицируются по материалам многолетних исследований Белого моря ИВПС КарНЦ РАН.

Толщина льда описана по категориям: серый (10-15 см), серо-белый (15-30 см) и белый (30-70 см) лед, со средней толщиной 70-80 см, включая толстый торосистый лед.

Мы использовали данные спутниковых микроволновых пассивных датчиков, предоставленные Национальным центром данных по снегу и льду NSIDC (<https://nsidc.org/data/G02135/versions/3>, по состоянию на 18 августа 2022 г.). Спутниковые данные представлены в виде осредненных за сутки полей сплоченности льда в полярной стереографической проекции с размером ячейки $25 \times 25 \text{ км}^2$.

Результаты и обсуждение

В январе-феврале почти вся акватория Белого моря покрыта плавучими льдами, разрушение начинается в марте. Образуются обширные площади открытой воды, и льды выносятся в Баренцево море. Ключевую роль в этом процессе играет ветер. Вдоль берегов образуются полыньи, а льды прижимаются к правым берегам заливов. В северной части моря и вдоль западного побережья образуются обширные полыньи. В последней декаде апреля около 2/3 акватории моря свободно ото льда. Единственный оставшийся участок льда находится в северо-восточной части моря, также вдоль побережья. К началу лета Белое море полностью освобождается ото льда. Однако, хотя в среднем эта закономерность типична, жизненный цикл льдов характеризуется значительной пространственной и временной изменчивостью.

Мы моделировали динамику Белого моря за десять лет с 2008 по 2017 гг. [4]. Модель воспроизводит все этапы ледового режима, в том числе продолжительность наличия ледяного покрова, образование больших площадей чистой воды весной, порядок схода льда в заливах и накопление льда в некоторых характерных местах. Сплоченность может изменяться за счет таяния/намерзания и за счет адвекции, когда лед выносится за пределы выбранной области. Модель может разделять эти процессы. Адвекция льда рассчитывается с помощью двумерной дивергенции. Мы используем процедуру численного интегрирования конечных элементов (и теорему Гаусса), чтобы получить поток морского льда (в терминах относительной площади) из произвольной области.

О правильности воспроизведения ледового режима Белого моря в модели свидетельствуют спутниковые снимки, в частности, за апрель и май, где видно, что припай остается в вершинах губ и мелководных губах, плавучие льды скапливаются в проливах при движении в северо-восточном направлении [5]. Расхождение по спутниковым снимкам и модельным данным в начале процесса ледообразования и в самом конце зимнего периода каждого года можно объяснить особенностями спутникового алгоритма, не учитывающего краевые пиксели из-за низкого пространственного разрешения. Поэтому максимальные погрешности наблюдаются в Кандалакшском заливе, который имеет наиболее изрезанные берега, содержит много закрытых и полузамкнутых губ, где лед формируется первым и тает последним.

Время замерзания и таяния морского льда воспроизводится хорошо, хотя и не заложено в модель. Это доказывает правильность описания теплового баланса в модели. Поскольку существуют сильные приливно-отливные течения, а также ветер, сплоченность морского льда может быстро уменьшиться на короткое время из-за торосообразования. Это хорошо видно как по модельным, так и по спутниковым данным.

Модель криосистемы сложно настроить, поскольку она требует больших вычислительных мощностей. Первоначальные результаты кажутся адекватными [5]. Модель может имитировать продукцию морских криоводорослей, бактерий и фауны и предсказывает рост (цветение) в марте и снижение биомассы в апреле-мае.

Сравнивалась суточная биомасса водорослей, нефотосинтезирующих бактерий в морском льду и ледовой фауны в период с февраля по май. Дополнительно использована нормированная освещенность подо льдом (максимум соответствует $35,7 \text{ Вт/м}^2$). Были показаны концентрации биогенных элементов (максимумы составляют $0,7 \text{ ммоль/м}^2$ для нитратов и $0,09 \text{ ммоль/м}^2$ для фосфатов). Результаты доказывают, что концентрации биогенных элементов снижены на поздней стадии ледового периода, тогда как свет важен на ранней стадии. Это не характерно для полярных экосистем, но характерно, например, для Балтийского и Белого морей.

Модель отражает трофические отношения в заполненных рассолом полостях морского льда: вначале продуцируют автотрофные водоросли, затем гетеротрофные организмы начинают поедать органические остатки, так что вторичная продукция заменяет первичную. Когда биомасса водорослей снижается почти до нуля, органическое вещество утилизируется вплоть до полного таяния льда. Новый лед содержит некоторое количество органического вещества, захваченного из воды, но температура и объем рассола слишком низкие, поэтому активность гетеротрофной фауны и бактерий также снижена. Зимой биогенные элементы, ранее принесенные реками, накапливаются в толще воды и доступны для пелагического цветения. В морском льду биогенные элементы захватываются осенью и поэтому не зависят от мгновенного речного стока.

Выводы

Численная модель JASMINE была дополнена подмоделью экологии морского льда. Модель общей циркуляции моря и модель биогеохимического потока были совмещены в режиме онлайн, т. е. с обменом данными на каждом временном шаге, с адвекцией и диффузией биологических трассеров по тем же алгоритмам, что и для двумерных полей температуры, солёности и морского льда. Параметр торосистости льда был настроен для лучшего моделирования динамики ледового режима.

Воспроизведены все этапы жизненного цикла льда: льдообразование в заливах, увеличение площади, покрытой льдом, выражены участки свободной воды в море, разрушение льда и его вынос из заливов. Результаты согласуются со спутниковыми наблюдениями. Что касается криосистемы, численное моделирование согласуется с некоторыми данными наблюдений по хлорофиллу «а», биогенным элементам и биомассе льда Белого моря.

Численные эксперименты показали, что экология морского льда не сильно меняет описание пелагической экологии, подтверждаются теоретические знания о зимнем режиме Белого моря, например, об ослаблении интенсивности течений; рассматриваются сроки образования и разрушения льда, удаления ледовых полей из заливов моря.

В дальнейшем мы планируем развивать модель и проверять ее с помощью данных, полученных в экспедициях. Разработка моделей динамики и экологии морского льда могла бы стимулировать проведение специальных полевых исследований, что позволит получить больше данных для улучшения и проверки моделей, а также расширить наше понимание процессов, происходящих в морском льду.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20014, проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Литература

- [1] Карпечко В.А., Махальская Н.И., Балаганский А.Ф., Толстиков А.В. Сток рек бассейна Белого моря // Свид. о гос. рег. базы данных № 2018621833. 19 ноября 2018 г.
- [2] Яковлев Н.Г. О воспроизведении полей температуры и солёности Северного Ледовитого океана // Известия РАН, ФАО, 2012, т. 48, № 1. С. 100-116.
- [3] Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A., Kravchishina M. and Iakovlev N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // J. Mar. Syst. 2018. No 187. P. 23-35. doi:10.1016/j.jmarsys.2018.06.006.
- [4] Chernov I., Tolstikov A., Baklagin V., Iakovlev N. Winter Ice Dynamics in a Semi-Closed Ice Covered Sea: Numerical Simulations and Satellite Data. Fluids 2022, 7, 324. <https://doi.org/10.3390/fluids7100324>.

[5] Chernov I., Tolstikov A., Iakovlev N. Simulating Dynamics and Ecology of the Sea Ice of the White Sea by the Coupled Ice-Ocean Numerical Model. *Water*. 2022, 14, 2308. <https://doi.org/10.3390/w14152308>.

[6] Danilov S., Wang Q., Timmermann R., Iakovlev N., Sidorenko D., Kimmritz M., Jung T., Schröter J. Finite-Element Sea Ice Model (FESIM), version 2. *Geosci. Model Dev.* 2015, 8, 1747-1761, <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1747-2015>.

[7] Hunke E., Lipscomb W. CICE: The Los Alamos Sea Ice Model, Documentation and Software; Technical Report 3.1 LA-CC-98-16; Los Alamos National Laboratory: Los Alamos, NM, USA, 2004.

[8] Lipscomb W., Hunke E., Maslowski W., Jakacki, J. Ridging, strength, and stability in high-resolution sea ice models. *J. Geophys. Res.* 2007, 112, C03S91, <https://doi.org/10.1029/2005JC003355>.

S u m m a r y. The study is based on thermohydrodynamic and biogeochemical modeling using the JASMINE software package, with simpagic ecosystem unit designed specifically for this purpose. Numerical experiments are carried out on the software package to study the warming-related changes in the characteristics of sea ice and marine ecosystems in the White Sea over a long period, and the sensitivity of the model components to variations in external conditions is also estimated. The complex process of ice cover formation and the gradual clearing of ice from the White Sea is adequate in the model. The results were compared with satellite images of several resources.

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДЕЛЬТЕ Р. ЛЕНЫ В 2022 Г.

С.Р. Чалов¹, Д.В. Магрицкий², К.Н. Прокопьева³, Е.Ж. Гармаев⁴

^{1,2,3}МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, tagdima@yandex.ru

⁴Байкальский Институт Природопользования СО РАН, Улан-Удэ, garend1@yandex.ru

EXPEDITION RESEARCH IN THE LENA RIVER DELTA IN 2022

S.R. Chalov¹, D.V. Magritsky², K.N. Prokopenva³, E.Zh. Garmayev⁴

^{1,2,3}Lomonosov Moscow State University, Moscow

⁴Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude

Аннотация. С 10 по 16 августа 2022 г. в мало исследованной дельте р. Лена проведены полевые гидрологические работы, во время которых измерены 25 расходов воды и скоростей течения, мутность воды в 58 точках, отобраны пробы воды, донных отложений и береговых грунтов на гранулометрический и химический состав, отмечены абразионные берега. Целью исследований было изучение распределения стока воды Лены между дельтовыми рукавами, роли местных гидролого-морфологических процессов в изменениях мутности воды, гранулометрического и химического состава наносов от вершины к морскому краю дельты, по глубине и ширине потока, получения натуральных данных для корректного дешифрирования спутниковых снимков. Все поставленные задачи были успешно решены.

Ключевые слова: дельта, рукав, расход воды, мутность, проба воды, грунт.

Введение

Дельта р. Лены – крупнейшая в стране по площади и числу рукавов. Она расположена в Российской Арктике, как известно быстро теплеющей; в устье второй по водоносности реки России, сток и режим которой с конца 1980-х гг. меняется. Все это создает условия для серьезных гидролого-морфологических изменений в дельте и ее роли маргинального фильтра. Эти нарушения, как и сама

дельта, мало изучены, стоковые посты не функционируют, комплексные гидрологические экспедиции давно не проводились. С 2022 г. заморожено российско-германское сотрудничество. Поэтому проведенные в августе 2022 г. гидрологические исследования очень своевременны. Целью исследований было изучение распределения стока воды Лены между дельтовыми рукавами, роли местных гидролого-морфологических процессов в изменениях мутности воды, гранулометрического и химического состава наносов от вершины к морскому краю дельты, по глубине и ширине потока, получения натуральных данных для корректного дешифрирования спутниковых снимков.

Регион исследований, объекты, гидрометеорологические условия.

Полевые гидрологические исследования проводились в восточном и среднем секторах дельты р. Лены, с 10 по 16 августа 2022 г. Крайней восточной и одновременно южной точкой района работ был южный берег зал. Неёлова (к северу от пгт Тикси; $71,75^{\circ}$ с.ш. и $128,86^{\circ}$ в.д.), крайней западной точкой – гидроствор на Оленекской протоке, в 3 км ниже впадения в нее Булкурской протоки ($72,31^{\circ}$ с.ш. и $126,07^{\circ}$ в.д.), крайней северной точкой – створ на Большой Туматской протоке ($72,71^{\circ}$ с.ш.). Общая протяженность маршрута работ «на воде» составила около 530 км. В числе исследованных водных объектов были зал. Неёлова, концевой участок Главного русла р. Лены, протоки (в действительности это типичные дельтовые рукава) Быковская, Оленекская, Булкурская, Бол. и Мал. Туматская, Арынская (в истоке) и ряд др. Полевой отряд базировался на о. Самойловский – на базе научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» (НИС «о. Самойловский») Института нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука СО РАН.

Большую часть времени в районе работ преобладал антициклональный тип погоды, с переменной облачностью – от 25-75% 11, 13 и 15–16 августа до 100% 12 и 14 августа. Осадки выпадали 12 августа. Сильный восточный ветер дул 14 августа (со скоростью 8-10 м/с). В остальные дни господствовали северные ветра (2-5 м/с). Температурный фон был благоприятным: с 11 по 13 августа похолодало с $11,8$ до $7,6^{\circ}\text{C}$, а к 16 августа температура вновь выросла (до $13,2^{\circ}\text{C}$). Полевые работы проводились в летне-осенний меженный сезон с паводками и пришлось как раз на спад распластанного паводка – первого после половодья. С 11 по 16 августа уровень снизился почти на 40 см, как по данным п.ст. Хабарово, так и по логгерам у о. Самойловский. В целом, гидрологические условия во время экспедиции соответствовали средним многолетним. Температура воды превышала температуру воздуха на $4-7^{\circ}\text{C}$.

Методы и приборы

Программа гидрологических работ включала как полевую часть, так и лабораторный анализ отобранных проб воды, грунтов (донных и береговых) и речных взвесей. Причем часть лабораторных исследований выполнена с использованием оборудования НИС «о. Самойловский». Во время полевых выездов на моторном катере были обустроены (вблизи о. Самойловский) два водомерных поста с логгерами фирмы ERG; установлена авторская

седиментационная ловушка. Измерены скорости течения и расходы воды на 24 створах - с помощью акустического доплеровского профилографа течений (АДПТ) RioGrande. Проведены 58 измерений оптической мутности воды (турбидиметром НАСН 2100р). В самых глубоких местах на створах взяты пробы воды - из поверхностного, придонного и среднего горизонтов. Ковшом Ван-Вина отобраны донные отложения, а на термоэрозионных берегах – образцы грунтов. Всего в ходе полевых работ было отобрано 30 проб, равномерно распределенных по длине обследованных участков. Во время маршрутов фиксировались и наносились на карту термоэрозионные берега.

На НИС «о. Самойловский» пробы воды с наносами фильтровались через вакуумную установку Millipore и мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм. В дальнейшем грунты, донные отложения, фильтры с речными взвешьями высушивались в сушильном шкафу. Далее фильтры взвешивались на электронных аналитических весах с точностью до 0,0001 г, и по массе осевших на фильтре наносов и объему пробы рассчитывалась весовая мутность. Донные грунты были проситованы; рассчитывался средневзвешенный диаметр отложений. Береговые грунты сжигались в муфельной печи при температуре 550 градусов для установления доли органики (торфа) в них. Часть проб воды, наносов и грунтов были отвезены в Москву для расширенного анализа – на гранулометрический и химический состав. Их изучение продолжается. Сопоставление данных по весовой (S, мг/л) и оптической (T, NTU) мутности позволило построить эмпирическую зависимость вида: $S=1,33 \times T-2,44$.

Обсуждение результатов

Во время экспедиции было измерено 25 расходов воды. Такой массив данных позволял изучить современную ситуацию с рассредоточением стока в дельте и между рукавами. Последние и наиболее известные такие оценки приводятся в [1, 2, 5, 6]. Прежде необходимо было соотнести распределение расходов воды между рукавами с расходами на посту Кюсюр, находящемся в 145 км выше вершины дельты. За август 2022 г. имелись лишь среднесуточные уровни на Кюсюре. По кривой расходов (за 2005-2011 г.) они были пересчитаны в среднесуточные расходы воды. Получилось, что с 10 по 16 августа расходы на посту снизились с 35050 до 28060 м³/с. Время добегания от поста Кюсюр до о. Столб ~1 сут. В итоге, для главного узла разветвления выяснилось, что расход в Главном русле составил 31250 м³/с (12.08) или около 93-95% расхода на посту Кюсюр, а в истоках Быковской, Трофимовской, Туматской и Оленекской проток соответственно ~25, 58-59, 6 и 6,4%. Это совпадает с расчетными данными в [6]: разница <0,5%, максимальная – 3% (для Трофимовской протоки и Главного русла). То же можно сказать и о Булкурской протоке, расход в которой составил 175 м³/с, или чуть больше 0,5%. То есть ранее установленное распределение сохраняется, и материалы в [6] по-прежнему современны! Новизна работ в 2022 г. – в получении данных о рассредоточении стока в районе о. Самойловский и в системе Туматской протоки, т.е. на совершенно новых участках. Доли Арынской, Большой и Малой Туматской проток равны примерно 52,8-53,8, 23,5-24,1 и 23,5-24,1% от расхода в истоке Туматской протоки.

Средние скорости течения были во время измерений расходов воды от 0,30-0,60 до 0,96 м/с (в Главном русле), максимальные – от 0,50-0,70 до 2,96 м/с. Наименьшие скорости – 0,01-0,07 м/с – измерены в Булкурской протоке, а также в нескольких небольших поперечных протоках или почти осохших (при данных отметках уровней воды).

Измерение мутности и определение закономерностей ее изменения по длине и глубине дельтовых рукавов решало 2 основные гидрологические задачи (помимо геохимических). Первая связана с оценкой вклада эрозионных и аккумулятивных процессов в дельте в трансформацию стока наносов р.Лена на его пути от вершины к морскому краю дельты. Превалирует мнение, что в устьях рек значительная часть принесенных реками наносов осаждается в условиях выполаживания уклонов. Первый такой участок – это устьевой, который включает в т.ч. речную дельту. Из этих наносов формируется и выдвигается устьевой конус выноса, дельта, создаются аккумулятивные формы рельефа, устьевые бары и др. В [4] суммарные потери взвешенных наносов в дельте Лены оцениваются в 83-90%, а в [6] – в 40-65%. В то же время по данным спутниковых снимков Landsat за 2000–2019 гг. выявлено продольное увеличение мутности воды по длине Быковской и Трофимовской протоки и ее уменьшение в Оленекской и Туматской протоках [3]. Основная причина – добавление в поток наносов от термоэрозии берегов, особенно в теплую и солнечную погоду, в устьях крупных рек, текущих с юга и транспортирующих огромные запасы тепла, а также с большими береговыми и островными массивами из едомы. То есть в арктических дельтах не все так однозначно, и они в условиях сильного потепления арктического климата и роста температуры речных вод постепенно «поедают сами себя». Результаты дешифрирования снимков, приводимые в [3], подтверждены во время экспедиции. Так, на основе 15 измерений оптической мутности 10 августа по длине полноводной и почти не теряющей стока Быковской протоки обнаружено увеличение мутности. В Туматской протоке мутность воды по маршруту, наоборот снижалась – от 28 до 13,5 мг/л, прежде всего из-за снижения стока. Определен вклад одного из ручьев, стекающего с термоэрозионного склона Оленекской протоки. Мутность воды в ручье составила 111 г/л, а вынос наносов в рукав 6,8 т в сутки. А таких ручьев дельте сотни! Главное теперь понять, при каких гидрометеорологических условиях это происходит и как долго длится, в сравнении с продолжительностью периода открытого русла.

Вторая задача связана с формированием понимания распределения взвесей и мутности по глубине и ширине потока с целью дешифрирования эхограмм АДПТ, а также определения соотношения между приповерхностной (видимой со спутников, измеряемой с катера и т.п.) и средней мутностью потока – для целей более точного расчета расходов наносов в створах. В Булкурской протоке мутность в приповерхностном и придонном слое составила 3,55 и 5,2 мг/л, в Оленекской – 11,7 и 13,5 мг/л, Туматской – 16,6 и 32,7 мг/л, Арынской – 14,3 и 17,8 мг/л, в Главном русле – 18,2 и 25,9 мг/л.

Также обнаружено, что с уменьшением водности водотока мутность уменьшается, с нарастанием ветро-волновой активности – увеличивается. Например, 11 августа мутность воды у о. Самойловский составляла 24,3 мг/л, 14 августа (штормовой день) – 32,1 мг/л, 15 августа – 14,2 мг/л. У о. Столб мутность в истоках дельтовых рукавов примерно одинаковая, хотя изменяется от берега к берегу.

Средневзвешенный диаметр 30 проб донных грунтов составил 0,46 мм, что соответствует средней и крупной фракции песка. Максимальная крупность донных отложений отмечена в большой Быковской протоке и у правого берега, который сложен коренными породами (5,58 мм). Наиболее тонкие отложения обнаружены в малых протоках (до 0,088 мм – илистые частицы). Результаты обработки береговых едомных грунтов показали их преимущественное минеральное происхождение. При этом сами грунты представляют собой песчано-илистую смесь с включениями торфа, остатков растительности, при этом значительно влагонасыщенные – доли сухого вещества в них изменялись от 83,6 до 92,2%. Эрозия и термоэрозия таких грунтов приводят к поступлению в речной поток относительно мелких частиц, которые по своим размерам соответствуют взвешенным частицам. Это может значительно увеличивать мутность и расходы наносов в рукавах – по направлению к морю. Еще одно доказательство этого – результаты изучения конуса выноса оврага, расположенного в разрушаемой части едомы правого берега Оленекской протоки (72,33 с.ш., 126,28 в.д.). Они показали, что доля частиц с размерами <0,1 мкм достигала 40%.

Выводы

В период с 10 по 16 августа 2022 г. в дельте р.Лена проведены экспедиционные исследования, в ходе которых измерены 25 расходов воды, выполнено 58 измерений мутности, отобраны пробы воды, донных отложений и береговых грунтов на гранулометрический и химический состав, отмечены абразионные берега. Установлено, что распределение водного стока у о.Столб соответствует ранее рассчитанному – в Быковскую, Трофимовскую, Туматскую и Оленекскую протоки поступает ~25, 58-59, 6 и 6,4% стока. Получены совершенно новые данные по рассредоточению стока в районе о.Самойловский и в южной части с-мы Туматской прот. Доказано, что в условиях потепления арктического климата и огромного теплового стока р. Лены на изменчивость мутности воды вдоль дельтовых рукавов влияет как выполаживание уклонов, локальные русловые процессы, так и поступление наносов с термоэродируемых берегов. Причем последняя составляющая может при определенных гидрометеорологических условиях быть внушительной и вызывать вдольрусловой рост мутности, фиксируемый спутниковыми снимками. Но это правило действует не для всех рукавов, а с берегами из едомы и, главным образом, южной экспозиции. Мутность воды во время экспедиции варьировала в среднем от 5 до 30 мг/л. По глубине мутность увеличивалась в 1,2-2 раза.

Благодарности

Исследование выполнено по гранту РФФИ № 21-17-00181.

Литература

- [1] *Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
- [2] *Федорова И.В., Большаинов Д.Ю., Макаров А.С. и др.* Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. М., 2009. С. 278-291.
- [3] *Чалов С.Р., Прокопьева К.Н.* Оценка баланса взвешенных наносов в дельте р. Лены по данным дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. 2021. № 3. С. 19-29.
- [4] *Alabyan A.M., Chalov R.S., Korotaev V.N., Sidorchuk A.Yu., Zaitsev A.A.* Natural and technogenic water and sediment supply to the Laptev sea // Berichte zur Polarforschung. 1995. No 176. Pp. 265-271.
- [5] *Ivanov V.V., Piskun A.A.* Distribution of river water and suspended sediments in the river deltas of the Laptev Sea // Berichte zur Polarforschung. 1995. No 176. Pp. 142-153.
- [6] *Magritsky D.V., Alexeevsky N.I., Aybulatov D.N., Fofonova V.V., Gorelkin A.* Features and evaluations of spatial and temporal changes of water runoff, sediment yield and heat flux in the Lena River delta // Polarforschung. No 87(2). 2018. Pp. 89-110.

S u m m a r y. From August 10 to August 16, 2022, field hydrological research was carried out in the Lena River delta, during which 25 discharges and flow velocities were measured, water turbidity at 58 points, samples of water, bottom sediments and coastal soils were taken for granulometric and chemical composition, abrasive shores were marked. The purpose of the research was to study the distribution of Lena water runoff between delta arms, the role of local hydrological and morphological processes in changes in water turbidity, granulometric and chemical composition of sediments from the head to the sea edge of the delta, in depth and width of the stream, obtaining field data for correct interpretation of satellite images. All the tasks were successfully solved.

ОЗЕРО КРУГЛОЕ: ГОДОВОЙ МОНИТОРИНГ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЁРНЫХ ВОД (ЛУЖСКИЙ РАЙОН, ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

К. А. Шихирина

*РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург,
kristinashikhirinaa@gmail.com*

KRUGLOE LAKE: ONE-YEAR SOME PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS MONITORING (LUGA REGION, LENINGRAD OBLAST, RUSSIA)

K. A. Shikhirina

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. В данной работе представлены результаты годового мониторинга некоторых физико-химических характеристик (общая минерализация TDS, водородный показатель pH, температура) слоев водной толщи пойменного озера Круглое, расположенного на левом

берегу реки Луга в Лужском районе Ленинградской области. Мониторинг проводился в 2021 году: в феврале, марте, апреле, августе, декабре. Особый интерес представляют отклонения от ожидаемой стратификации на глубинах 3 и 6 метров (от уреза воды в меженный период), интерпретируемые автором как места разгрузки подземных вод в котловине озера.

Ключевые слова: озеро Круглое, геостанция «Железо», гидрохимия, годовой мониторинг, разгрузка подземных вод, режим озер, температурная стратификация, соленость вод, кислотность вод.

Введение

Озеро Круглое – пойменное димиктическое озеро, расположенное на левом берегу реки Луга в окрестностях географической станции «Железо» в Лужском районе Ленинградской области. Геостанция является учебным стационаром, на территории и в окрестностях которой с 70-х годов XX века ежегодно проводятся зимние и летние полевые практики обучающихся естественно-научных специальностей РГПУ им. А. И. Герцена. Особенностью данного озера является его сообщение с водами реки Луга, во-первых, через старицу в течение всего года (за исключением резко маловодных лет), а во-вторых, напрямую в период весеннего половодья, когда объём проходящего через озеро стока резко увеличивается. Несмотря на то, что озеро Круглое является одним из классических объектов для проведения учебных практик по гидрологии, вопрос происхождения его котловины остается открытым.

В 2021 году при проведении зимней гидрологической практики впервые были выполнены простейшие гидрохимические измерения, позволившие выявить отклонения от ожидаемой стратификации по следующим показателям: температура воды (t , °C), водородный показатель (pH), общая минерализация (TDS, ppm). По всем трём величинам были выявлены отклонения на глубинах 3 и 6 метров от уреза воды в меженный период (при глубине озера 7-8 метров) [3]. Участниками исследования было выдвинуто предположение о разгрузке подземных вод в котловину озера на данных глубинах, что объясняет наблюдаемые значения изучаемых показателей, а также косвенно подтверждает одну из основных версий происхождения озера – версию о том, что на данном участке долины реки Луга достигает минимальных значений мощность четвертичных осадочных пород, перекрывающих известняковые морские отложения, что обусловило образование карстовой воронки под влиянием течения реки Луга [2].

Для подтверждения гипотезы о разгрузке подземных вод в котловину озера была поставлена цель провести годовой мониторинг ранее упомянутых физико-химических характеристик вод озера.

Объекты и методы

Исследования проводились в окрестностях учебного стационара РГПУ им. А.И. Герцена – геостанции «Железо», расположенной в Лужском районе Ленинградской области вблизи реки Луга (в ее среднем течении, рис. 1). На рисунке 2 можно увидеть батиметрическую карту озера, составленную при уровне воды 7,5 метров. В качестве объекта исследования было выбрано озеро

Круглое, предметом исследования – температура, общая минерализация и водородный показатель слоев водной толщи озера.

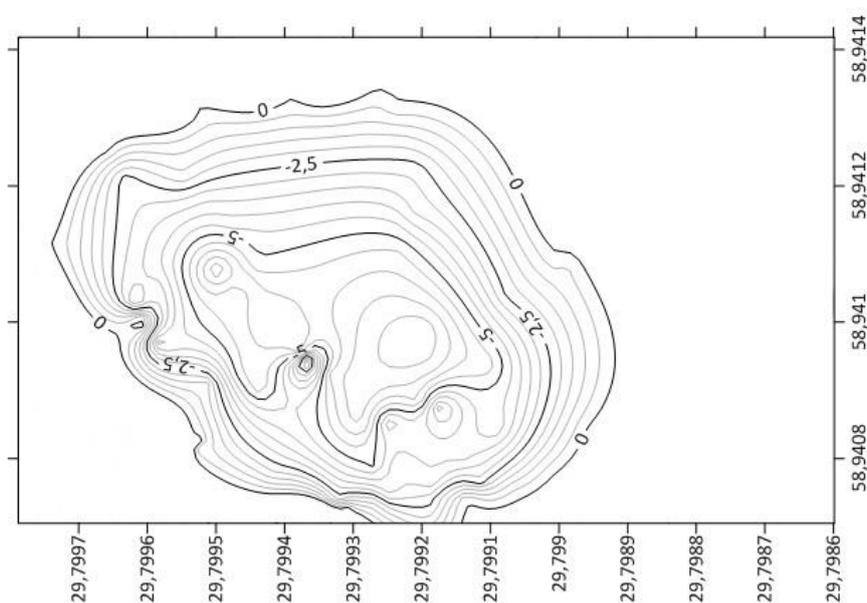


Рис. 1-2. Расположение о. Круглое [Landsat, 2019] и его батиметрическая карта [составлено автором по материалам батиметрической съемки эхолотом, 2020].

Исследование проводилось полевым методом. В качестве оборудования были использованы следующие приборы: шнековый ледобур, батометр Руттнера со встроенным срочным термометром, рН-метр и TDS-метр. В период ледостава отбор проб осуществлялся со льда, в остальной период – с лодки. Методика проведения полевых работ включала в себя следующие шаги: создание сквозного отверстия во льду при помощи шнекового ледобура (в период ледостава), отбор проб воды с каждого 0,5 м слоя водной толщи, снятие показаний срочного термометра, измерение водородного показателя рН и содержания растворенных солей.

Вторым методом стал анализ полученных значений на камеральном этапе. Был проведен сравнительный анализ показаний с учетом положения слоя водной толщи от дна котловины, что для поставленной цели нивелировало изменение уровня воды.

Обсуждение результатов

Результаты произведенных измерений физико-химических характеристик озера можно увидеть на рисунке 3.

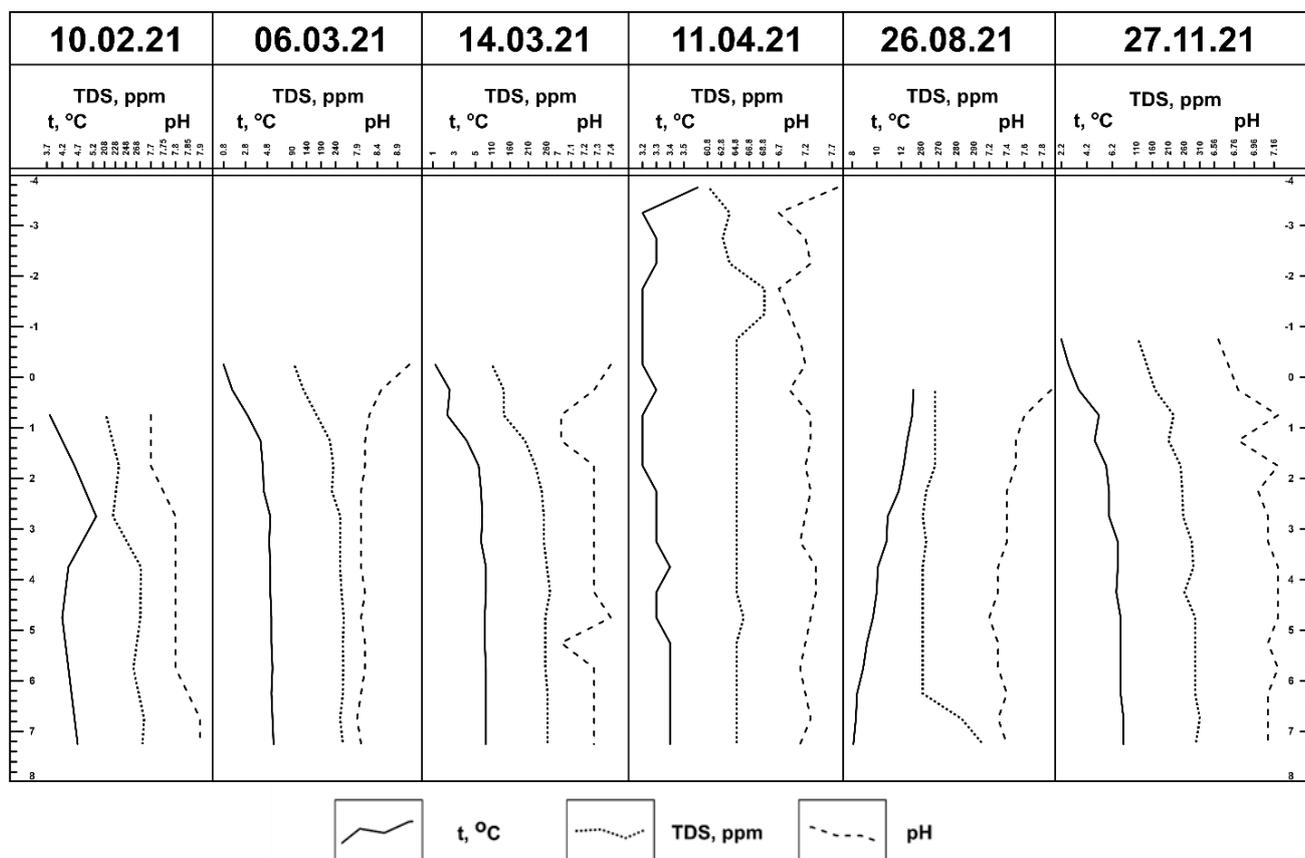


Рис. 3. Графики изменения температуры (t , °C), общей минерализации (TDS, ppm) и водородного показателя (pH) в озере Круглое с глубиной в различные сезоны. Составлено автором по методике [1].

Во всех колонках наблюдались ожидаемые отклонения на глубинах 2-3 м и 5-6 м (от уреза воды в меженный период), причём с повышением уровня воды в озере отклонение на глубине 2-3 м наблюдалось чуть выше (на глубине 1 метр). В таблице 1 приведены максимальные, минимальные и средние значения изучаемых показателей для всей водной толщи по всем наблюдениям.

Таблица 1. Минимальные, максимальные и средние значения показателей

	Температура t , °C	Общая минерализация, ppm	pH
Минимальное	0,8	61	6,6
Максимальное	13	309	9,2
Среднее	5,4	202	7,4

Уровень воды в озере в течение года наблюдался в пределах от 7,5 до 11,3 метров, что, во-первых, нетипично для озера диаметром 50 метров, к тому же пойменного, а, во-вторых, наглядно демонстрирует чувствительность его режима к сезонным изменениям среды – в период весеннего половодья уровень

воды в реке Луга и ее старице обуславливает высокую проточность озера и, как следствие, изменяет его гидрохимические характеристики.

Общая минерализация варьировалась в пределах от 61 до 309 ppm, при этом, ожидаемо, значение увеличивалось от поверхностного слоя к придонному, что обуславливается как опреснением поверхностного слоя за счёт осадков, так и за счёт стока с водосбора. Наименьшие значения наблюдались в период весеннего половодья (11.04.21), когда уровень воды в озере за счёт талого стока был наибольшим, а наибольшие значения минерализации фиксировались в ноябре, когда уровень воды в озере падал после осенних паводков, а в озере начала формироваться обратная зимняя стратификация.

Чаще всего водородный показатель рН изменялся по глубине прямопропорционально изменению температуры воды, что является нетипичным - между температурой и рН, наблюдаемым при данной температуре, существует обратно пропорциональная зависимость, за исключением случаев, когда пробы из разных слоев отличаются между собой по гидрохимическому составу. Наименьшие значения рН наблюдались в период весеннего половодья (11.04.21) и после осенних паводков (27.11.21), что говорит о том, что в озере при низком уровне и, соответственно, относительно меньшей проточности, среда формируется слабощелочная. Это косвенно может указывать на то, что котловина озера находится в месте залегания осадочных карбонатных пород, в некоторой степени, косвенно и условно, но подтверждая теорию происхождения котловины.

Выводы

В ходе проведенного годового мониторинга удалось установить, что, вне зависимости от фазы режима озера и погодных условий в период отбора проб, фиксируемые значения показателей температуры, общей минерализации и водородного показателя так или иначе отклоняются от ожидаемого равномерного хода с глубиной на уровнях 2-3 и 5-6 м (от уреза воды в меженьный период). Для показателя температуры эти отклонения по своему значению не так существенны большую часть года, тогда как для общей минерализации и водородного показателя отличие более существенно.

Причиной таких отклонений, вероятно, можно считать разгрузку грунтовых вод на данной глубине котловины, оказывающей отепляющее/охлаждающее, ощелачивающее/окисляющее и минерализующее воздействие. Таким образом, результаты исследования указывают на наличие, по меньшей мере, двух мест разгрузки грунтовых вод в котловину озера.

Результаты проведенного исследования увеличили объем имеющихся знаний об озере Круглое, закономерностях его годового режима и особенностях физико-химического состава вод, что в дальнейшем будет применяться при проведении полевой практики по гидрологии для обучающихся факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена.

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Юрию Анатольевичу Кублицкому, к. г. н., доценту кафедры физической географии и природопользования, за поддержку в организации полевых работ и интерпретации результатов, а также студентам, аспирантам, выпускникам и сотрудникам факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена: Брылкину В. В., Федотову И. А., Орлову А. В., Шаталовой А. Е., Коренчуку С. О., Костенкову А. Ю., Кравченко Н. Е. за помощь в выполнении полевых работ и поиск неординарных решений при неблагоприятных погодных условиях.

Литература

- [1] Греков И.М., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Брылкин В.В. ГИС в полевых физико-географических исследованиях СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. 36 с.
- [2] Сушков С.Ф., Летюка Н.И. О происхождении озера Круглое // Материалы межвузовской конференции LVII Герценовские чтения. СПб., «Эпиграф», 2008.
- [3] Шихирина К.А., Кублицкий Ю.А., Нестерова Л.А. Изучение физико-химических характеристик озёрных вод в период ледостава // География: развитие науки и образования: Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, Санкт-Петербург, 21-23 апреля 2021 года / Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. Том 2. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2021. С. 284-288.

S u m m a r y. In this paper the results of one-year monitoring of TDS, pH, temperature in the Krugloe Lake (river Luga valley, Luga Region, Leningrad oblast', Russia) are presented. Fieldworks were made 6 times: in February, March, April, August, December of 2021. The significant deviations of all three parameters are detected in 3m and 6m depth (during lowest year water level - 7-8 meters deep). The author interpretes these deviations as indicators of discharge of groundwater in the lake basin.

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ БЕРЕГОВ ЗАЛИВОВ ЛАХТА И РАСКОПЕЛЬСКИЙ ЧУДСКОГО ОЗЕРА

К.А. Шихирина¹, А.Д. Миронова¹, П.П. Малькова¹

¹РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург,
kristinashikhirinaa@gmail.com

TO THE QUESTION OF THE ORIGIN OF RASKOPELSKY AND LAKHTA BAYS' COASTS OF LAKE PEIPUS

K.A. Shikhirina¹, A.D. Mironova¹, P.P. Malkova¹

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. В данной работе было изучено увеличение песчаной косы на юго-востоке Чудского озера, отделяющей заливы Лахта и Раскопельский от основной части акватории озера. Был проведен сравнительный анализ по картографическим материалам и по материалам дистанционного зондирования Земли за последние 160 лет, который привел к выводу, что изучаемая коса, как и Раскопельский полуостров, но в меньшей мере, увеличивается в

размерах. Авторами выдвинуто предположение, что увеличение косы и полуострова связано с переносом песчаного материала, которым изобилуют окружающие озеро территории.

Ключевые слова: Чудское озеро, Раскопельский залив, залив Лахта, песчаные косы, морфология берегов, ветровые течения.

Введение

Чудско-Псковское озеро – это субмеридионально вытянутый озерный комплекс, состоящий из трех частей – Чудского (Пейпси) и Псковского (Пихкварв) озер, соединенных узким Теплым озером (Ламми-ярв). Комплекс относится к бассейну Финского залива Балтийского моря, с которым соединено короткой рекой Нарва (длина 77 км, падение 30 м). Средняя высота водосбора озера составляет 80-100 м над уровнем моря. Средняя площадь поверхности Чудского озера – 2613 км², что составляет 73% от всего озерного комплекса. Средняя глубина 8,3 м, максимальная глубина – 12,9 м [5]. Береговая линия Чудского озера развита слабо, за исключением устьевых участков крупных притоков, заливы и бухты практически отсутствуют; крупнейшими из них являются Раскопельский и Лахта, расположенные на юго-востоке и отделенные от основной части акватории Раскопельским полуостровом и косой соответственно. В данной работе были поставлены две задачи: изучить, видоизменяются ли очертания береговой линии косы и полуострова, и определить факторы, обуславливающие эти изменения.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования были выбраны берега заливов Лахта и Раскопельский на юго-востоке Чудского озера, в частности Раскопельский полуостров и коса, отделяющая от акватории озера залив Лахта. Основным методом были выбраны дешифрирование и сравнительный анализ картографических материалов и материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученных спутниками Landsat 5-8. Материалы, по которым был проведен анализ, относятся к периоду 1860-2021 годов, т. е. охватывают временной промежуток в 160 лет. Сравнение картографических материалов и материалов ДЗЗ хоть и является относительно неточным методом, но в ряде случаев может дать некоторые результаты, которые, безусловно, носят гипотетический характер и нуждаются в проверке с проведением полевых работ.

Обсуждение результатов

Одна из первых карт бассейна Чудско-Псковского озера и его окрестностей была составлена по результатам экспедиции К. М. Бэра в 1860 году. (рис. 1). Составителями данной карты участок, который сегодня представляет собой косу со сформировавшейся древесной растительностью, изображён как остров и полуостров, не имеющие постоянного соединения над поверхностью воды. Раскопельский полуостров изображён значительно меньшим по ширине, чем он есть сегодня. Вполне возможно, что это могло быть авторское изменение или же более низкий уровень воды в озере, но, согласно имеющимся усреднённым данным, уровень озера по семилетним скользящим кривым был ниже [5].



Рис. 1 и 2 Карты Чудско-Псковского озера из работ К. М. Бэра «Исследования о состоянии рыболовства в России» (1860) и из работы И. Б. Шпиндлера «Чудское озеро» (1896 г.): А – карта целиком, В – исследуемый участок.

На карте 1896 года (рис. 2), составленной И. Б. Шпиндлером, размер косы и полуострова был изображён уже больше, однако по-прежнему остров Борок изображён отдельно от материковой части суши. На последующий продолжительный период картографических материалов того же масштаба или крупнее обнаружено практически не было. На туристических картах и лощиях, составленных в 90-х годах, тем не менее остров Борок уже представляет собой часть формирующейся косы, условную изолированность которого обуславливают только протоки антропогенного происхождения. Во второй половине XX века были запущены спутники Landsat, материалы, полученные которыми, доступны для бассейна Чудского озера с 1985 года. Уже на первых снимках от декабря 1985 году (рис. 3) можно увидеть значительное отличие в очертаниях береговой линии, причём в 1985 году Чудское озеро находилось в той части многолетнего уровня цикла, когда уровень воды в озере в среднем был значительно выше среднего уровня за многолетний период [4]. Тем не менее, на снимке можно отметить отсутствие изоляции острова Борок от суши.



Рис. 3. Спутниковый снимок Раскопельского залива и залива Лахта в 1985 году (получен спутниками Landsat): А – бассейн Чудско-Псковского озера, В – исследуемый участок.



Рис. 4. Спутниковый снимок Раскопельского залива и залива Лахта в 2021 году (получен спутниками Landsat): А – бассейн Чудско-Псковского озера, В – исследуемый участок.

На снимке от декабря 2021 года (рис. 4) ширина косы, отделяющей залив Лахта, стала значительно больше – около 300-400 метров 1985 и более 600 метров в 2021 году. Стоит отметить и увеличившуюся площадь, которую занимает древесная растительность, что вероятно указывает на снижение обводненности центрального участка косы. Частично это вызвано более высоким уровнем озера в 1985, на что указывает конфигурация берегов заливов (в особенности южная).

Значительные размеры озера вызывают изменения в общем потоке воздуха, возникает местная циркуляция в виде бризов и изменения направления ветра из-за различий в шероховатости поверхности воды и суши. В течение года преобладающими ветрами являются юго-западные, южные и западные ветра [4].

В Чудском озере образовывается два крупных циркуляционных гнезда, вытянутых в соответствующем ветру направлении – субмеридионально или субширотно (рис. 5). Вместе с ними наблюдаются течения непосредственно вдоль берега, направление которых так же изменчиво, но оно совпадает с направлением ветра.

Наибольшие скорости течения в Чудском озере наблюдаются в его южной и юго-восточной части (0,15-0,19 м/с), обуславливающие интенсивный нагон вод к юго-востоку озера [5]. Наиболее осложнен рельеф подводного берегового склона различными мезо- и микроформами на северном и восточном побережьях Чудского озера. Здесь наблюдается серия мелких подводных валов, сложенных песком. Оттуда вдольбереговыми течениями переносится песчаный материал, заполняя входящие углы и осаждаясь на косах [3].

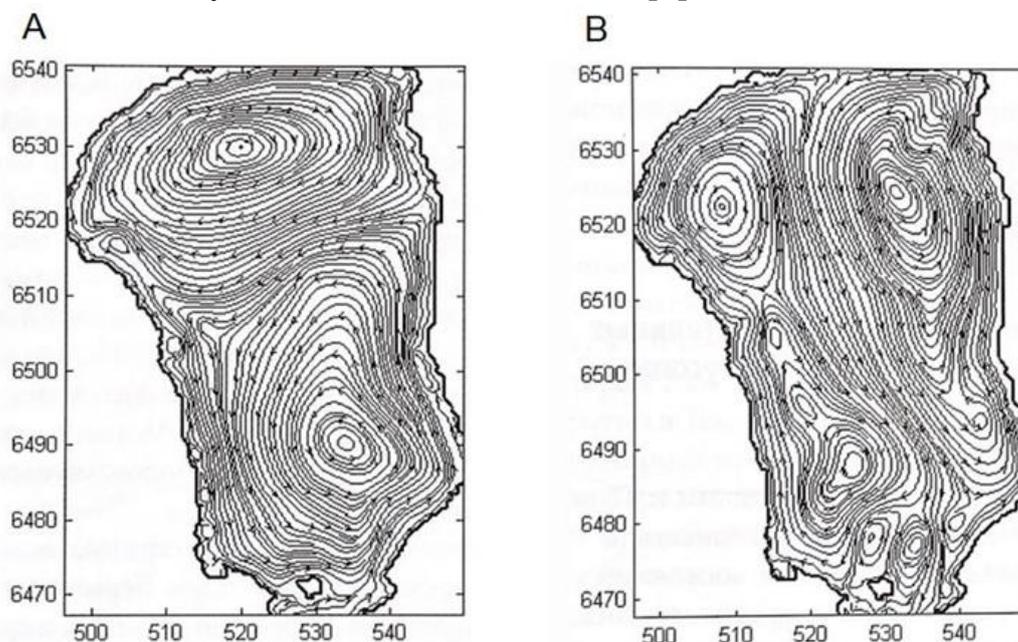


Рис. 5. Схема течений в озере: А – при западном ветре, В – при южном ветре [4].

При южном ветре близ заливов Раскопельский и Лахта формируются два меньших циркуляционных гнезда, где задерживается песчаный материал, а затем, при смене направления ветра, он перемещается, аккумулируясь на берегах косы. При этом, возможно, значительная часть материала на косы переносится при северном ветре с более северных участков восточных аккумулятивных и абразионно-аккумулятивных берегов Чудского озера, сложенных также песчаными отложениями [3]. При сильных штормах дополнительным источником песка могут выступать дюны на северном и восточном берегах [2].

Еще одним источником поступления песчаного материала на косы в меньшей степени может являться твердый сток реки Желча, расположенной на юге от заливов Лахта и Раскопельского. В Желченском заливе при субмеридиональном направлении ветра формируется циркуляционное гнездо, вероятно аккумулирующее твердый сток реки, при смене направления ветра переносимый к Раскопельскому полуострову.

Выводы

Вероятно, в изменении площади Раскопельского полуострова и косы, отделяющей заливы Раскопельский и Лахта от основной части акватории Чудского озера, прослеживается положительная динамика, о чем свидетельствуют карты и спутниковые снимки. Основными источниками

материала для них служат песчаные отложения флювиогляциального, аллювиального и эолового происхождения, перемещение и аккумуляцию которых в береговой зоне косы и полуострова обуславливают специфические условия циркуляции на юго-востоке Чудского озера.

Благодарности

Авторы выражают благодарность своему научному руководителю Юрию Анатольевичу Кублицкому, кандидату географических наук, доценту кафедры физической географии и природопользования факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена.

Литература

- [1] Богословский Б.Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология (гидрология суши) Л.: Гидрометеиздат, 1984. 426 с.
- [2] История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР) / Отв. ред. Д.Д. Квасов. Л.: Наука, 1989. 280 с.
- [3] Карпущина Н.В. Геоморфология берегов Чудско-Псковского озера // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. №4.
- [4] Псковско-Чудское озеро / Науч. ред. Т. Тимм, А. Раукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. 490 с.
- [5] Соколов, А. А. Чудско-Псковское озеро (монография, серия Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР) Л.: Гидрометеиздат, 1941. 223 с.
- [6] Tavast E. Changing factors of the coasts of Lake Peipsi, North-Eastern Europe // Quaternary Intern. 2009. Vol. 207. P. 130-136.

S u m m a r y. In this paper the origin of Raskopelsky and Lakhta bays' coasts of lake Peipus was supposed. The comparative analysis was carried out on cartographic materials and on the materials of remote sensing of the Earth over the past 160 years, which led to the conclusion that the studied sand spit and Raskopelsky Peninsula have been increasing in size. The authors assume the growth is associated with the transfer of sandy material from surrounding areas caused by specific wind circulation.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

POLAR RESEARCH

ИЗУЧЕНИЕ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕСПУБЛИКИ КОРЕЯ ПО ОСВОЕНИЮ АРКТИКИ

Бэк Ен Чжун¹, Л.А. Дорофеева², А.И. Шадрин³
*КГПУ им. В.П. Астафьева, г. Красноярск, ¹ kiseling@daum.net, ² dorofeeva-la@yandex.ru,
³ shadrin18061@yandex.ru*

STUDY OF SCIENTIFIC SUPPORT OF INTERACTION BETWEEN THE RUSSIAN FEDERATION AND THE REPUBLIC OF KOREA FOR THE DEVELOPMENT OF THE ARCTIC

Baek Young Jun¹, L.A. Dorofeeva², A.I. Shadrin³
^{1,2,3} Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, Russia, Krasnoyarsk

Аннотация. В статье рассмотрен опыт изучения взаимодействия Российской Федерации и республики Корея по освоению Арктики. Методы исследования: комплексный подход, системно-аналитические, экономико-статистические, картографический и др. Изучены вопросы взаимодействия двух стран по развитию северных территорий и представлены направления проведения дальнейших совместных исследований.

Ключевые слова: научный и образовательный комплекс, направления взаимодействия, Арктика, республика Корея.

Введение

Актуальность поставленной в данной статье проблемы определяется потребностью в изучении научного обеспечения взаимодействия Российской Федерации и республики Корея по освоения Арктики. Проведенное исследование связано с анализом проблем освоения зарубежной и российской Арктики и развития Северного морского пути. Такой подход к арктическому пространству, как ожидается, сможет обеспечить новые перспективы и направления исследований в академических кругах и практические действия как в России, так и за рубежом, в том числе в Республике Корея. Следовательно, существует объективная необходимость подготовки материалов, определяющих научные основы комплексного освоения Арктики различными странами.

До настоящего времени приполярные территории являлись предметом интересов отдельных наук. Но они недостаточно рассматривались экономико-географами, как один из важнейших специфических регионов планеты, внимание к которому расширяется в дипломатии, экономике, технических, гуманитарных и социальных науках. Кроме того, в вопросах использования природно-ресурсного потенциала, транспортной и логистической составляющей научных исследований, прикладных разработок и в практическом освоении данной территории заинтересованы не только страны, имеющие

непосредственное близкое географическое положение, но и достаточно удаленные от этого региона, в том числе республика Корея.

Изучение и исследования Арктики является важнейшей задачей на современном этапе развития человечества, так как этот регион оказывает воздействие на мир и в нем решаются многие глобальные проблемы. Его интенсивное освоение определяется геополитическим, геоэкономическим, геоэкологическим и геосоциальным влиянием на мировое развитие. Это связано с тем, что арктический регион оказывает большое влияние на глобальную окружающую среду и экосистемы, и будет служить важным вмещающим пространством для будущих поколений. По одной из научных версий, воздействие глобального потепления и таяния льдов приведет к грандиозным преобразованиям не только в данном регионе, но и во всех странах мира.

Цель исследования: экономико-географический анализ научного изучения освоения Арктики.

Задачи:

- теоретически обосновать понятия и определение сущности комплексного изучения освоения Арктики;
- определить особенности и основные направления взаимодействия Российской Федерации и Республики Корея по изучению освоения Российской Арктики;
- провести комплексные экономико-географические исследования, стратегии и политики изучения Арктики в отдельных странах, проблемы и последствия их реализации, противоречия и вызовы корейско-российского сотрудничества.

Полученные результаты

1. Теоретическое и практическое значение имеют научные и прикладные исследования, проводимые в Корейско-Сибирском центре республики Корея (университете Пай Чай) и в Красноярском государственном педагогическом университете им. В.П. Астафьева [2].

Проведен сравнительный анализ научных исследований, проведенных в Российской Федерации и в республике Корея по данному вопросу, выявлены достижения и тенденции, связанные с освоением Арктики в политической, экономической, научно-технической, этногеографической, социально-культурной и других сферах. В рамках обзора литературы, тематических исследований и сравнительных сопоставлений рассмотрены направления арктических стратегий республики Корея и Российской Федерации.

2. Проблемы изучения освоения и дальнейшего развития Российского Севера и Арктики могут быть решены с использованием аппарата экономико-географических исследований по социально-экономическому развитию региона с привлечением научно-образовательного и инновационного комплекса других стран, в том числе республики Корея.

В результате проведенного исследования изучены политика и практика стран, которые заинтересованы в контактах в исследовательском арктическом пространстве и в получении комплексных результатов и их использовании.

Выявлен научный и практический интерес республики Корея к освоению Арктики и развитию Северного морского пути. В республике Корея созданы государственные, корпоративные, академические и университетские структуры соответствующего профиля.

На практике это проявляется в проведенном анализе научных и научно-исследовательских работ и в подготовке специалистов по широкому кругу специальностей арктической направленности и в конкретных действиях, проводимых в Российской Федерации и в республике Корея [3].

3. Выявление экономико-географических закономерностей размещения и функционирования системы научно-образовательных и инновационных комплексов является одной из важнейших задач социально-экономической (общественной) географии на новом этапе развития и пространственной организации научно-образовательной и производственной деятельности разных стран и регионов.

В работе проведен анализ научных и научно-исследовательских работ, опубликованных в Российской Федерации и в Республике Корея за последнее десятилетие. Впервые, в данном контексте, рассмотрены вопросы политического и экономического сотрудничества двух стран. Наблюдается концентрация внимания ученых республики Корея и увеличения опубликованных научных работ на конкретных направлениях науки, техники, технологий и образования.

В работе отмечается, что необходимо решить фундаментальные вопросы рассматриваемых проблем и подвести итоги предыдущих исследований в Российской Федерации и в республике Корея и систематизировать полученные данные в целях достижения взаимовыгодного сотрудничества и проведения усилий по получению положительных практических результатов, а также разработать предложения по дальнейшему сотрудничеству Российской Федерации и Республики Корея в данном вопросе. В соответствии с этим предлагается рекомендовать разработку предложений по проведению соответствующей арктической политики, разработке прогнозов, стратегий, программ, планов и конкретных инвестиционных проектов, необходимых для реализации в рамках взаимодействия Российской Федерации и республики Корея, и, соответственно, необходимости разработки нового подхода к проведению научных исследований (в том числе совместных) по Российской Арктике.

Проведенные авторами исследования по оценке научно-образовательного и инновационного потенциала Российской Федерации и Республики Корея в целях освоения Российской Арктики и развития Северного морского пути, обеспечивающих проведения национальных научно-технических, инновационных и образовательных политик служат основанием для проведения научно-исследовательских работ в данном направлении.

Изученные формы территориальной организации науки, образования и инноваций в республике Корея связаны с проводимыми научными исследованиями, опытно-конструкторскими работами в IT, вычислительной технике, транспорте, судоходной логистике, судостроении, рыболовстве,

индустрии туризма и с конкретными производствами, которые используются и будут использованы для освоения Арктики и развития Северного морского пути и могут являться примером многостороннего плодотворного сотрудничества Российской Федерации и республики Корея [1, 4, 5].

Проведенный совместно с корейскими учеными расширенный поиск материалов по арктической тематике выявил особенности взаимодействия Российской Федерации и республики Корея. Вместе с тем, в представленной информации недостаточно показаны материалы по общественной географии и регионалистике.

Литература

- [2] *Бэк Ен Чжун, Шадрин А.И.* Направления взаимодействия Российской Федерации и Республики Корея по освоению Арктики и развитию Северного морского пути / *Korean Journal of Siberian Studies*, Vol. 23(1), 2019, С. 151-179.
Шадрин А.И., Ким Чжон Хун, Бэк Ен Чжун. Научные исследования Арктики в республике Корея // *География и геоэкология на службе науки и инновационного образования*, Выпуск 12, Матер. междунар. конф, Красноярск, 2017. С. 322-327.
- [3] *Шадрин А.И.* Интеграция образования и науки в регионе: вопросы теории и практики. Красноярск: Краснояр. гос. пед. ун-т, 2018. С. 52.
- [4] *Шадрин А.И., Бэк Ен Чжун, Хан Джон Ман.* Направления взаимодействия Российской Федерации и республики Корея по освоению Арктики и развитию Северного морского пути // *География арктических регионов. Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции*, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 9-10 ноября 2017 года. СПб.: Типография ООО «Старый город», 2017. С. 223-226.
- [5] *Шадрин А.И., Бэк Ен Чжун, Хан Джон Ман.* Участие Республики Корея в освоении Арктики; перспективы и противоречия. *Наука Красноярья*. №1, 2019. С. 89-113.

S u m m a r y. The article considers the experience of studying the interaction between the Russian Federation and the Republic of Korea in the development of the Arctic. Research methods: an integrated approach, system-analytical, economic-statistical, cartographic, etc. The issues of interaction between the two countries in the development of the northern territories were studied and directions for further joint research were presented.

Key words: scientific and educational complex, areas of interaction, the Arctic, the Republic of Korea.

ЛЕДЯНЫЕ ЗАТОРЫ И НАВОДНЕНИЯ В СУБАРКТИЧЕСКИХ УСТЬЯХ

Е.Н. Долгополова¹, М.В. Исупова¹, М.В. Михайлова¹

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва. *dolgopolova@gmail.com*,
misupova@yandex.ru, *mv.mikhailova@gmail.com*

ICE JAMS AND FLOODS AT THE SUBARCTIC MOUTHES

E.N. Dolgopolova, M.V. Isupova, M.V. Mikhailova

Water Problems Institute RAS, Moscow

Аннотация. Исследуются сток воды в субарктических устьях, длительность подледного периода и толщина ледового покрова и их изменения. Проводится сравнение режимов разных дельт с самой южной субарктической дельтой Юкона. Обсуждаются изменения ледового режима субарктических устьев рек под влиянием потепления климата. Отмечено, что преобладающей причиной наводнений в дельте Юкона становятся штормовые нагоны, а не ледяные заторы.

Ключевые слова: субарктические дельты, расход воды, ледяные заторы, наводнения.

Введение

Весеннее вскрытие субарктических устьев происходит позднее чем остальных участков рек. Заторы льда, характерные для субарктического побережья океана, формируются в половодье и приводят к резкому повышению уровня воды и наводнениям. Наличие мерзлых пород в устьевых равнинах приводит к дополнительному размыву берегов и увеличению площади затопления равнины [15]. Свойства ледового покрова зависят от условий его формирования, зимних температур и осадков [10]. Толщина, свойства ледяного покрова и условия весеннего вскрытия реки определяют время существования, высоту подъема уровня воды и площадь затопления при заторных наводнениях [4]. Глобальные изменения климата влияют на ледовый [6] и гидролого-морфологический режим устьев рек, так как в субарктических областях Северной Америки и России наблюдалось повышение средней температуры воздуха T на 2-3 °С к концу 2020 г. по сравнению с осредненной за период 1880–1920 гг. [2].

Цель настоящей статьи – сравнение гидрологических характеристик устьев рек субарктического региона, находящихся на разных широтах (табл. 1), и анализ имеющихся данных о ледяных заторах и наводнениях в этих устьях.

Объекты и методы

Рассматриваются устья рек на побережье Северного ледовитого океана (табл. 1). Рассчитан среднемноголетний расход воды Q и тренд его изменений для семи устьев рек Печора, Лена, Яна, Колыма, Маккензи, Колвилл и Юкон. Приводится длительность ледостава и средняя толщина льда. Проводится сравнение и анализ этих величин для разных устьев при изменениях климата. Для сравнительного анализа выбрана дельта Юкона (рис. 1), самая южная из расположенных в зоне ММП с вершиной дельты (ВД) в г. Пайлот-Стайшн и одноименным гидрологическим постом (г/п).

Исследуются данные о ледяных заторах и наводнениях в устьях рассматриваемых рек. Основные причины их возникновения это: более раннее

вскрытие реки на верхних участках, уменьшение уклона дельтовой равнины вниз по течению, особенности морфологических характеристик реки и рукавов, мелководные устьевые бары и ледяные образования на устьевом взморье [3]. Затопы льда, формирующиеся в период ледохода, приводят к повышению уровня воды и наводнениям, наличие ММП препятствуют инфильтрации талых вод, что еще увеличивает уровень воды в рукавах дельт.

Таблица 1. Характеристики рек: среднемноголетний расход воды в ВД $\langle Q \rangle$; площадь дельты F_d ; скорость изменения Q в % $Q/\langle Q \rangle$; T_{ICE} , ΔT_{ICE} , d , Δd – длительности ледостава и максимальная толщина льда, и их уменьшение

Река	Сев. широта	$\langle Q \rangle$, м ³ /с	$Q/\langle Q \rangle$, %	F_d , км ²	T_{ICE} , дни	ΔT_{ICE} , дни	d , м	Δd , см
Юкон	61°56'04"	6557	0.67	5282	~190	2.4**	>1.5	~50
Печора	68°18'27"	4234	0.20	2590	>200	~6	1.4	2 – 4
Маккензи	68°56'23"	9260	0.21	13000	~240	~6	~2.0	
Колыма	69°33'05"	3320	0.29	3250	~238	~3*	1.4	0 – 1
Колвилл	70°53'02"	624	0.98*	660	~240	~5	2.0	
Яна	71°32'14"	1063	0.56	8200	~238	~3*	2.4	
Лена	72°24'43"	17200	0.19	29300	~250	~2	2.3	4 – 6

* Q , рассчитанный по данным [13] за 2000-2007 гг., может быть завышен; * – [6]. ** – верховье.

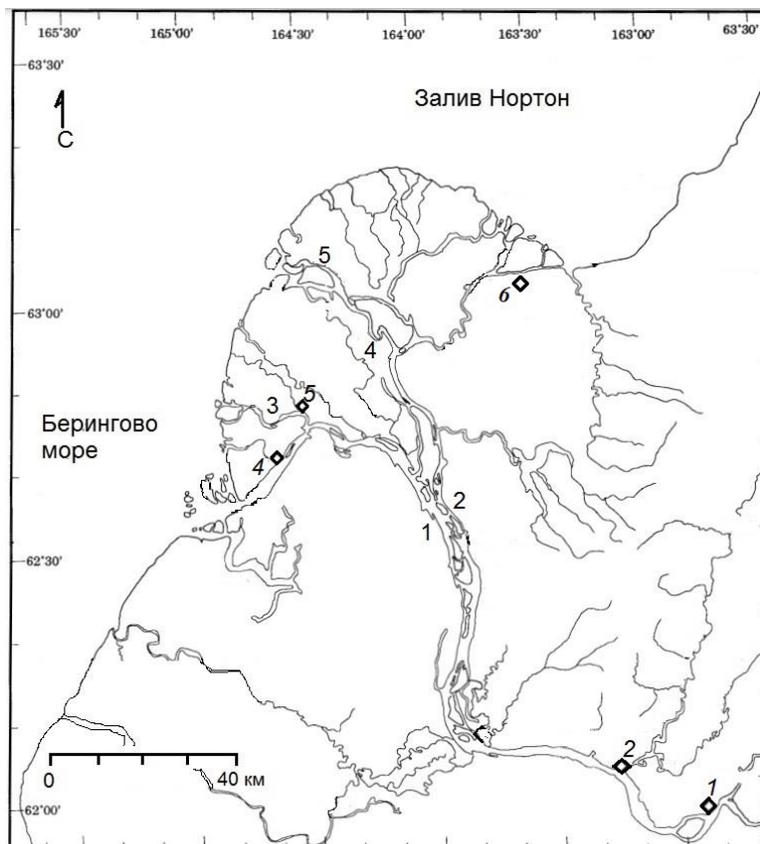


Рис. 1. Карта-схема дельты Юкона.

Рукава 1, 2 – Квиклюак, Апун, 3 – Квигук, 4, 5 – Каванак, Квикпак; населенные пункты: Пайлот-Стейшн (1), Питкас Пойнт (2), Алаканук (4), Эммонак (5), Котлик (6).

Обсуждение результатов

Во всех устьях из таблицы 1 наблюдается рост расхода воды с разной скоростью. В результате ежегодных ледяных заторов и наводнений в дельтах потоки воды текут к морю по еще покрытым льдом рукавам. Арктические дельты мало населены и регулярные наблюдения за датами образования ледяных заторов и заторными уровнями воды не ведутся, исключая экстремальные случаи. По данным [1, 6, 10] максимальная толщина льда и продолжительность ледостава уменьшаются в XXI в. по сравнению с периодом от начала наблюдений до 1979 г.

На р. *Юкон*, как и на других рассматриваемых реках, таяние снега и льда начинается с верховьев реки. Нерегулярные наблюдения за вскрытием реки на г/п Пайлот-Стэйшн начались в 1924 г., однако тренд дат вскрытия имеет малую достоверность. По имеющимся данным вскрытие реки на заключающем г/п в настоящее время происходит в среднем 13 мая, что на 6 дней раньше, чем в начале XX в. В ~30 км ниже г/п Пайлот-Стэйшн с 1950 до 2007 г. T зимой выросла – 40 до –25°C, а d уменьшилась с ~2 м до 1 м [12]. В настоящее время вскрытие рукавов дельты *Юкон* проходит почти незаметно без звука взломанного льда, что подтверждает выводы [9]. В 15 мая 2009 г. ледяные заторы выше ВД спровоцировали затор у с. Питкас-Пойнт, ниже которого еще сохранялся сплошной лед, и вся дельта была затоплена [7].

В юго-западной части дельты (с. Эммонак, Алаканук) регулярно возникавшие заторы льда при вскрытии потоков в рукавах стали реже, часто лед тает на месте и уровень воды не превышает критических отметок. В период 1984–2006 гг. зарегистрировано 13 наводнений [14], 10 из которых происходили в результате ледяных заторов. За весь период наблюдений 1964–2020 гг. в северной части дельты *Юкона* (с. Котлик, рис. 1) [11] отмечено 33 наводнения (рис. 2), которые происходили в основном осенью и два весенних наводнения (треугольники на рис. 2). Все остальные наводнения происходили в результате *штормовых нагонов*. Наводнение, происходившее в результате ледяного затора выше Пайлот-Пойнт весной 2009 г. и покрывшее всю дельту, зарегистрировано и в с. Котлик (побережье зал. Нортон). При этом подъем уровня воды был существенно меньше критического (0.9 м).

Вскрытие рукавов дельты *Маккензи* начинается одновременно в конце мая – начале июня и сопровождается заторами льда в ВД, ростом уровня воды и затоплением большей части дельты [9]. Несмотря на потоки воды, несущие обломки льда вдоль Среднего и других рукавов дельты, льдины никогда не выносятся за пределы верхней дельты. Максимальная $d \leq 1.3$ м в ВД средняя за 1996–2008 гг. наблюдалась в конце апреля – середине мая.

В дельте *Колвилла* ледяные заторы часто возникают на спаде половодья благодаря таянию огромных льдин, застрявших на мелководьях и устьевых барах [15]. По данным разных авторов из [8] за 1962–1995 гг. для рукавов дельты грубая оценка дает: дату очищения от льда в конце периода на ~5 дней раньше, а максимальный уровень воды достигается на ~15 дней позже. Задержку пика половодья можно объяснить изменением режима таяния ледников и режима

осадков в верховьях притоков реки.

Вскрытие рукавов дельты *Печоры* начинается в конце мая и с вероятностью 33% сопровождается заторными наводнениями в период 1912–2015 гг. [4]. Одно из опасных наводнения в результате ледяного затора произошло в 1998 г., когда средний уровень воды ниже ВД был превышен на ~5 м, и были затоплены улицы Нарьян-Мара [3]. В дельте *Лены* вблизи ее вершины (о. Тит-Ары) часто образующиеся ледяные заторы вызывают подъем уровня воды, распространяющийся вверх по течению на большие расстояния (до сотен километров) и длящийся до 10 суток [2].



Рис. 2. Наводнения в северном рукаве Юкона.

В дельтах *Яны* и *Колымы* заторные наводнения происходят практически ежегодно с подъемом уровня воды на 10-13 м [5]. На режим Сибирских дельт оказывает большое влияние граница распространения паковых морских льдов вблизи устьевых взморьев.

Выводы

Предпринятое исследование позволяет сделать следующие выводы: (1) Расходы воды в дельтах рек растут при этом длительность ледовых явлений и толщина льда на рукавах дельт в 21-ом веке убывает. (2) В настоящее время в дельте Юкона, самой южной из рассмотренных, наводнения, вызванные ледяными заторами, незначительны по сравнению с нагонными наводнениями, зависящими от распространения многолетних морских льдов вблизи устьевого взморья. (3) Данные о вскрытии северных дельт при сравнении с дельтой Юкона позволяют предположить, что при прогнозируемом росте T частота заторных наводнений будет уменьшаться, а штормовых нагонов расти.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы № № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН.

Литература

[1] Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // Вестник С.-Петербургского университета, 2014, Серия 7. Вып. 3, С. 32-45.

- [2] Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Гидролого-морфологические процессы в дельтах криолитозоны: дельты рек Лены и Маккензи // Водные ресурсы, 2021, Т. 48. № 4, С. 390-406.
- [3] Исупова М.В. Наводнения в устьевых областях рек России, причины их возникновения и последствия // Сб. научных трудов Евразийского Научного Объединения «Актуальные вопросы развития науки в мире», 2017, № 4 (26), С. 189-193.
- [4] Магрицкий Д.В., Скрипник Е.Н. Опасные гидрологические процессы на устьевых участках Сев. Двины и Печоры // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы гидроэкологии и геоэкологии». Пермский гос. исслед. Университет. Пермь, 2016. 129 с. (С. 42-47).
- [5] Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы. М.: ГЕОС. 1998. 212 с.
- [6] Agafonova S.A., Frolova N.L. et al. Modern characteristics of the ice regime of Russian Arctic rivers and their possible changes in the 21st century // Geography, Environment, Sustainability. 2017. V.10. No. 4, P. 4-15.
- [7] Alaska news. <https://www.adn.com/alaska-news/article/ice-jams-plug-yukon-river-russian-mission-pilot-station>
- [8] Baker M. Colville River Delta Spring Breakup Monitoring & Hydrological Assessment. Final. Document # 178181-MBI-HH-RPT-002. 2020. 216 p.
- [9] Beltaos S., Carter T., Rowsel R. Measurements and analysis of ice breakup and jamming characteristics in the Mackenzie Delta, Canada. // Cold Regions Science and Technology. 2012. V. 82, P. 110-123.
- [10] Beltaos S., Prowse T. 2009. River-ice hydrology in a shrinking cryosphere // Hydrological Processes, 2009. V.23. P. 122-144.
- [11] Buzard R.M., Overbeck J.R., Turner M.M et al. Coastal flood impact assessments for Alaska communities: Kotlik // Coastal flood impact assessments for Alaska communities: Alaska. Division of Geological & Geophysical Surveys. Report of Investigation. 2021-1C. 57 p.
- [12] Herman-Mercer N., Schuster P.F., Maracle K.B. Indigenous Observations of Climate Change in the Lower Yukon River Basin, Alaska // Human Organization. 2011. V. 70, No. 3. Pp. 244-52.
- [13] McClelland, J. W., A. Townsend-Small, R. M. Holmes et al. River export of nutrients and organic matter from the North Slope of Alaska to the Beaufort Sea // Water Resources Research. 2014. V.50. P. 1823-1839.
- [14] Local Hazards Mitigation Plan. City of Emmonak WH Pacific, Inc. Bechtol Planning and Development // Report prepared by Emmonak City Council: Redfox J. D., Benedict M.C. et al. 2008. 78 p.
- [15] Walker, H.J., Hudson, P.F. Hydrologic and geomorphic processes in the Colville River delta, Alaska // Geomorphology. 2003. V. 56. P. 291-303.

S u m m a r y. The river flow, ice condition duration and ice thickness and their changes for several subarctic rivers are under consideration. The ice regimes of all the deltas are compared with the most southern subarctic delta of the Yukon River. The changes of the deltas regimes with the climate warming are discussed. It is revealed that the main origin of regular inundations at the Yukon delta nowadays became storm surges instead of ice jams in delta branches.

IMPLICATIONS AND PROSPECTS FOR SOUTH KOREA AS IT CELEBRATES THE 10TH ANNIVERSARY OF OBSERVER STATUS IN THE ARCTIC COUNCIL¹

Joung Hun Kim¹, Song Lee²

¹Director of Pai Chai University Korean-Siberia Center, South Korea, Daejeon, jhkrm@pcu.ac.kr

²Pai Chai University Korean-Siberia Center, South Korea, Daejeon, geomdosa@gmail.com

ПОСЛЕДСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ЮЖНОЙ КОРЕИ В СВЯЗИ С ПРАЗДНОВАНИЕМ 10-ЛЕТИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТАТУСА НАБЛЮДАТЕЛЯ В АРКТИЧЕСКОМ СОВЕТЕ

Жонг Хун Ким¹, Сун Ли²

¹Директор Корейско-Сибирского центра Университета Пай Чай, Тэджон Южная Корея

²Корейско-Сибирский центр Университета Пай Чай, Тэджон, Южная Корея

Key words: South Korea, Russia, Arctic, Arctic Council, 2050 Arctic Action Strategy, Arctic Council Observers.

Abstract

Since the Russia-Ukraine crisis that occurred in February 2022, the international situation has changed significantly. The security environment of the Arctic Circle, which draws the attention of the international communities due to climate warming, resource development, and increased accessibility, is also rapidly changing. Conflict within the Arctic Council (AC) is amplifying due to increased cooperation between Russia and China in the Arctic Circle, the dispatch of special envoys from the United States, and the declaration of Finland and Sweden joining NATO.

2023 is the year for the Republic of Korea (hereinafter referred to as South Korea) to celebrate the 10th anniversary of acquiring AC observer qualification. Accordingly, this paper analyzed South Korea's Arctic policies and activities over the past 10 years, and based on this, attempted to seek the possibility of cooperation with Russia, which shares the same perception of the Arctic as a potential space for future growth.

Introduction

The Republic of Korea is a geopolitical intermediate country and is intertwined with the complex interests of four major powers, the United States, China, Japan, and Russia. South Korea is a non-arctic neighboring country, and it must prepare for the camp confrontation in the Arctic and the Arctic hegemony war represented by Russia, China, and the United States. It also needs to play a representative intermediate role in the Arctic. Rather than excessive military-security intervention in the Arctic region, multilateral cooperation should be conducted with member states of the Arctic Council and observer countries, focusing on health & medical care, IT, and ship technology that only the Republic of Korea can do.

Since the Russia-Ukraine crisis that occurred in February 2022, the security environment in the Arctic has rapidly changed due to increased cooperation between Russia and China, the dispatch of U.S. envoys to the Arctic, and the declaration of Finland and Sweden joining NATO. In preparation for this situation, the Republic of Korea should strengthen its Arctic diplomacy with member states of the Arctic Council

and observer countries and implement South Korea's own Arctic diplomacy policy. The year 2023 marks the 21st anniversary of the establishment of Dasan Science Base and the 10th anniversary of the Arctic Council's observer status. This study looked into the «2050 Arctic Activity Strategy», which can gauge the direction of South Korea's Arctic policy, and attempted to find ways to cooperate between Russia and South Korea, which exert the greatest influence in the Arctic region.

Main Subject

Gorbachev's Murmansk Declaration in 1987 opened the Arctic Circle to the international community and raised interest in the Arctic Circle. In 1996, Ottawa, Canada, announced the Ottawa Declaration on the Establishment of the Arctic Council, which includes member states, observers, working groups, and how meetings are held. In this declaration, the Arctic Council was launched to exclude the military sector and protect the environment of the Arctic Circle, preserve the lives of the Native Americans, and develop sustainably. The Arctic Council has formed the current organizational system consisting of six working groups, including eight member countries. The Arctic Council deals with environmental changes occurring in the Arctic region, response to emergencies occurring in the Arctic region, and preservation of the lives of natives as major issues.

Global warming has made access to the Arctic region easier, and the Arctic region, which used to be a space of peace due to the increased possibility of resource development buried in the Arctic region, and commercialization of Arctic routes, is transforming into a space of conflict and dispute. The crisis of military security in the Arctic region is escalating due to the Russia-Ukraine war that began in February 2022, the dispatch of U.S. envoys to the Arctic region, and the declaration of Finland and Sweden joining NATO. However, the Arctic is the last treasure trove of resources on Earth and the base of life for Native Americans in the Arctic, and it is a space where North Pole residents and natives live while preserving their traditions, cultures, languages, and histories. Recognizing this situation, S. Korea is establishing an Arctic strategy and expanding its research activities in the Arctic.

S. Korea opened Dasan Science Base in the Norwegian Svalbard Islands in 2002, opened the Korea Polar Research Institute (KOPRI) in 2004, and built the Araon, Korea's first icebreaker in 2009, laying the foundation for minimal Arctic research. South Korea was selected as an observer country of the Arctic Council in 2013 after three challenges since applying for an observer of the Arctic Council in 2009.

S. Korea's recently announced Arctic Strategy «2050 Arctic Activity Strategy» presented four strategies and detailed tasks under the vision of «Leap as a leading Arctic governance country». [1] <Table 1> shows the strategies and detailed tasks for promoting the «2050 Arctic Activity Strategy» of South Korea.

There is a limit for S. Korea to carry out its Arctic diplomacy. It lacks the ability to cope with climate and environmental changes in the Arctic region and Arctic research activities. The main reasons for this are a lack of Arctic experts, non-neighboring Arctic country. There are also limits in continuing to pursue the Arctic strategy depending on the internal political situation of S. Korea. The «2050 Arctic Activity Strategy» announced in 2021 promotes eco-friendly ship development based

on Korea's excellent ship technology and seeks to develop eco-friendly fuel-powered ships through cooperation with countries in the Arctic countries to develop eco-friendly fuel-propelled ships.

Contribution to resolving pending issues in the Arctic Circle	Strengthening capacity to cope with the climate crisis, Securing prediction and response technologies for marine environment and ecosystem, Strengthening cooperation among Native Americans in the Arctic
	Activating customized bilateral cooperation and participating in the establishment of multilateral cooperation platforms
Sustainable participation in Arctic development	Building a Safe Arctic Route Based on New Technology in Shipbuilding and Shipping, Strengthening eco-friendly energy cooperation, Participating in the realization of sustainable Arctic Ocean fisheries, Discovering exemplary projects for win-win cooperation in the Arctic region.
Laying the groundwork for Arctic activities	Training of professionals, System maintenance

Source: Summary of the contents of «2050 Arctic Action Strategy»

<https://law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EA%B7%B9%EC%A7%80%ED%99%9C%E B%8F%99%EC%A7%84%ED%9D%A5%EB%B2%95> (Search date: February 5, 2023.)

At the Eastern Economic Forum held in Vladivostok, Russia in 2017, President Moon Jae-In presented nine areas for economic cooperation between S. Korea and Russia and proposed the Arctic route and Arctic port cooperation project as a way to develop the Arctic region. President Moon Jae-In announced that cooperation in the shipbuilding field to explore the Arctic route with Russia could lead to a new economic cooperation model between S. Korea and Russia. However, the Russia-Ukraine crisis, which began in 2022, has been prolonged, and sanctions against Russia centered on the U.S. and the West are being imposed. S. Korea is participating in sanctions against Russia at the level of an ally of the United States, and Russia has designated S. Korea as an unfriendly country, delaying economic cooperation between S. Korea and Russia and further cooperation in the Arctic region. Since the establishment of the new government of S. Korea in May 2022, it has been struggling to find economic cooperation measures with Russia, and various changes have been attempted, including the abolition of the Northern Economic Cooperation Committee.

Conclusion

Currently, the activities of the Arctic Council are difficult due to the prolonged Russia-Ukraine crisis, which has a significant impact on the role and activities of S. Korea as an observer country. At the same time, although the relationship between S. Korea and Russia is also somewhat stagnant due to the launch of the new government of S. Korea, the two countries are aware of the importance of economic cooperation. As a result, S. Korea needs to face up to the situation of the confrontation and hegemony in the Arctic, centered on the U.S.-China-Russia powers, and come up with a foreign policy plan for the Arctic.

Russia's Arctic policy has been revised several times to suggest a feasible Arctic strategy. Russia, as the chair of the Arctic Council (Norway will chair the Arctic Council from May 2023), seeks to preserve the Arctic region's native population, preserve the Arctic region's ecology and environment, and stabilize the Arctic region. Due to issues taking place in the international community, the cooperation project between South Korea and Russia in the Arctic region is not easy, but they have the same goal to find new growth engines through the Arctic space. Therefore, S. Korea should look back on the 10th anniversary of the Arctic Council observer country, analyze the positive and negative aspects of its Arctic strategy and policy, and derive and implement sustainable matters in cooperation with Russia.

In December 2022, 'Arctic Cooperation Week' was held to invite Arctic experts to discuss various Arctic issues such as Arctic policy, science, and industry. 'Arctic Cooperation Week', which began in 2016, is discussing ways for S. Korea to contribute to the Arctic Circle by promoting S. Korea's Arctic activities and vision to the world, seeking ways to increase people's interest in the Arctic Circle.

S. Korea expressed its willingness to study the Arctic for a long time through the investigation of abnormal climate relations and the opening of Dasan Science Base as an interested party in the Arctic region. Through mid- to long-term Arctic diplomacy with Arctic countries, it has acquired the status of an observer country in the Arctic Council and secured a position as an Arctic partner with the Arctic Circle. However, S. Korea's Arctic diplomacy has its limits. The fact is that S. Korea is a non-arctic neighbor and an observer country of the Arctic Council. The Arctic Council, which deals with issues in the Arctic Circle, is an inter-country forum led by eight member countries. In 2008, the five member states of the Arctic Council (Russia, Denmark, Norway, the United States, and Canada) gathered in Ilulissat, Greenland, demanding the stability of their positions. As such, the Arctic Council is operated exclusively and in a closed condition, and it is virtually impossible for S. Korea to carry out its own Arctic strategy. S. Korea should develop its Arctic strategy through cooperation with Arctic countries, and cooperation with Russia, which is a member of the Arctic Council and exerts the greatest influence among the five coastal countries, will play a major role as the future economic growth engine of S. Korea.

Acknowledgments

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2022S1A5C2A01092699)¹

Literature

[1] «2050 Arctic Action strategy», <https://law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EA%B7%B9%EC%A7%80%ED%99%9C%EB%8F%99%EC%A7%84%ED%9D%A5%EB%B2%95> (Search date: 2023.2.5.)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЯЗЫКОВОГО И КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ КОРЕННЫХ НАРОДОВ АРКТИКИ И CHAT GPT¹

Ким Чжа-Ён²

Квонкван университет, г. Иксан, Респ. Корея, ruslove@daum.net

DIGITIZATION OF THE LINGUISTIC AND CULTURAL HERITAGE OF THE INDIGENOUS PEOPLES OF THE ARCTIC AND CHAT GPT

Kim Ja-Young

Wonkwang university, Iksan, Rep. of Korea

Аннотация. Эта статья посвящена краткое введение в проект Арктического совета «Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики» и в Chat GPT. В статье говорится о важности проекта, необходимого для устойчивого развития Арктики, и прогнозируется возможность дальнейшего расширения при подключении к Chat GPT.

Ключевые слова: Арктика, цифровизация, Chat GPT, Арктический совет, коренной народ.

Введение

Арктика – это место, где коренные народы, более разнообразные, чем любой другой регион на земле, издавна продолжают свою жизнь. Коренные народы Арктики прожили свою хозяйственную деятельность, обычаи, уникальные культуры и образ жизни в гармонии с природой, преодолевая суровые климатические условия. Однако в настоящее время коренные жители Полярного круга не только напрямую затронуты изменением климата в Арктике, но и в таких деятельности, как добыча и переработка природных ресурсов, разработка маршрутов, строительство портов и развитие туристических направлений, вопросы гармонии с новыми мигрантами и их новой культурой, быстрая смена традиционного образа жизни, чувство утраты от отчужденности от распределения прибыли при использовании собственной земли, исчезновение национального языка и традиционной культуры, отсутствие правовой защиты и т.п.

Глядя на Северный регион как на человеческое жилище, подобно попыткам сохранить биологическое разнообразие, можно сделать вывод, что сохранение культурного разнообразия – это способ для современных людей научиться более интегрированному и здоровому мышлению и процессу консенсуса. Это потому, что человечество живет в более сложном и непредсказуемом многообразии, чем в предыдущем столетии. В данных обстоятельствах очень приветствуется проект Арктического совета по оцифровке языков и культурного наследия коренных народов Арктики.

В октябре 2020 года к.б.н. Анатолий Жожиков из Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, принял участие в заседании Рабочей группы Арктического совета по устойчивому развитию (SDWG) в Исландии и представил проект под своим руководством «Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики». Потом в 2021 году, министр иностранных дел России Сергей Лавров на 12-й министерской

¹ This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2022S1A5C2A01092699)

² Приглашенный профессор из университета Квонкван Кореи

встрече Арктического совета заявил об улучшении благосостояния и качества жизни жителей Арктики, расширении доступа к образованию и медицинскому обслуживанию, расширении гуманитарной деятельности, включая молодежные обмены, предложил совместный проект по сохранению, в том числе, самобытности и наследия коренных народов Севера. С этим согласились все государства-члены Арктического совета, и был запущен «Проект по цифровизации языкового и культурного наследия коренных народов Арктики».

Согласно «Атласу языков, пропавших без вести», изданному ЮНЕСКО, менее чем за столетие в мире уже исчезло около 200 языков и многие находятся на грани исчезновения. Большинство языков коренных народов Арктики находятся в кризисе, и нельзя не отметить, что исчезновение языка может привести к утрате и исчезновению национальной идентичности, а сохранение культурного и антропологического разнообразия может обеспечить более здоровое будущее человечества. С точки зрения этого, оживление данного проекта необходимо.

После одобрения Арктическим советом в качестве руководителей проекта были выбраны Российская Федерация, Норвегия и Райпон (Raipon). Цель этого проекта – зафиксировать и сохранить язык и культуру коренных народов, проживающих в Арктике, а также опубликовать соответствующие материалы на международном интернет-портале, чтобы поделиться ими с людьми во всем мире в режиме онлайн.

Проект и Chat GPT

Современные люди стали жить и общаться сразу в двух средах: обычной среде реального общения и виртуальной информационной среде. Общение в виртуальной среде начинает брать верх над традиционным человеческим общением. Рождение новой среды поликультурного общения в глобальном информационном пространстве становится основой диалога и взаимодействия цивилизаций, культур, определяющих мировоззрение и устойчивое развитие поколений XXI века. Естественно, все языки и культуры народов, населяющих планету, должны быть выражены в этом едином и бесконечном информационном пространстве.

Однако, к сожалению, можно сказать, что получать информацию, услуги и общаться в интернете можно только на доминирующем языке. По данным ЮНЕСКО, сегодня в интернете многие языки из реально существующих в мире, не могут участвовать в обмене информацией, находясь как бы в тени «господствующего» государства, навязывающего свой язык и навязывает свое мировоззрение и обычаи.

Цель проекта «Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики» – создание международного интернет-портала о языке и культуре коренных народов Арктики.

В результате реализации этого проекта традиционные местные знания хранятся в цифровых носителях и сохраняются в киберпространстве на многоязычных порталах, что позволяет любому человеку в мире получать доступ и изучать традиционные местные знания в любое время и в любой точке мира.

В 2022 году председатель проекта А.В. Жожиков объявил, что проект будет реализован на основе следующих планов:

- сбор материалов из государственных и частных архивов по языковому, культурному, историческому и кулинарному наследию;
- интервью и записи носителей аборигенного языка Арктики и хранителей традиционной культуры аборигенов;
- собрать ценные цифровые коллекции языков и культур коренных народов Арктики;
- многоязычный интернет-портал знакомит с языками и культурами всех коренных народов Арктики.
- продвижение традиционной культуры коренных народов через интернет, передача традиционных знаний коренных народов молодежи, участие молодежи в науке и исследованиях, продвижение образовательной деятельности по обучению родным языкам и культурам, сохранение и развитие языков коренных народов Арктики и культуры
- создание интегрированной структурированной базы знаний и платформы, позволяющей коренным народам Арктики учиться друг у друга, сохранять и развивать свой язык, культуру и традиционный образ жизни
- создание поликультурной среды для общения людей, проживающих в Арктике
- воспитание будущих талантов в арктическом регионе с учетом образа кочевников с использованием цифровых технологий
- разработка ГИС-карт языков арктических аборигенов
- проведен семинар по интеллектуальной собственности и развитию инфраструктуры для разработки прототипов машинного перевода между разными языками коренных народов Арктики и др.

В последнее время мир предъясвляет много ожиданий и опасений к Chat GPT (Conversational Generative Pretrained Transformer), разработанному Open AI. Такие компании, как Google, боятся потерять свою конкурентоспособность в конкурентной борьбе с Chat GPT. Потому что, Chat GPT развивается так быстро, что поисковые системы. А также, использование Chat GPT для языкового обучения или перевода растет не только из-за обширной информации, но и из-за грамматического совершенства.

С точки зрения зарубежного исследователя, проживающего и изучающего северные регионы России и полярный круг, доступ к которым затруднен, я отдаю должное численности коренных народов Арктического региона, их языкам и культурному наследию. Однако нередко возникают трудности из-за того, что данные, необходимые для исследования, не оцифрованы или они находятся на разных языках коренных народов без возможности понятия этих языков.

В такой ситуации появление Chat GPT вызывает большие надежды. Считается, что по мере обнаружения и оцифровки информации о языке, искусстве и знаниях о сосуществовании с природой, накопленных коренными народами Арктики за время проживания в этом регионе, и если эти результаты будут связываться с Chat GPT, то возможность рассматривать, изучать и

сохранять широкий спектр информации коренных народов будет значительно расширена.

Заключение

В данной статье кратко представлен цифровизационный проект Арктического совета по сохранению и развитию многовекового культурного наследия коренных народов севера России и за Полярным кругом и обмену им с миром, а также быстро развивающийся Chat GPT. Данная статья и об ожиданиях зарубежного исследователя возможности их соединения.

Литература

- [1] Жожиков А.В. «О ходе реализации проекта Арктического совета «Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики» за 2021 год», Цифровизация языкового и культурного наследия коренных народов Арктики (сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции), г. Нерюнгри, С. 28-37, 2021 г.
- [2] О проекте – Арктический многоязычный портал – <https://arctic-megapedia.com>
- [3] How to Use Chat GPT: Complete Beginner Guide - <https://medium.com/nerd-for-tech/how-to-use-chat-gpt-complete-beginner-guide-164d00029372>
- [4] Introducing Chat GPT - <https://openai.com/blog/chatgpt>

S u m m a r y. This article is a brief introduction to the Arctic Council's Digitization of the Language and Cultural Heritage of Arctic Indigenous Peoples project and Chat GPT. The article talks about the importance of the project, which is necessary for the sustainable development of the Arctic, and predicts the possibility of further expansion when connected to Chat GPT.

РАЗВИТИЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В XXI ВЕКЕ

Н.А. Кондратов

САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, n.kondratov@narfu.ru

DEVELOPMENT OF THE NORTHERN SEA ROUTE IN THE XXI CENTURY

N.A. Kondratov

NARFU named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

Аннотация. Стратегические задачи освоения Арктической зоны РФ предполагают реализацию в этом регионе инвестиционных проектов по разработке минеральных ресурсов и развитию транспортной инфраструктуры (мегапроектов), прежде всего, в хинтерланде Северного морского пути и его портов. Экономическая деятельность в Арктике развивается на фоне стремительных и необратимых изменений в природной, экономической и геополитической сферах. Транспорт, являясь ключевым фактором освоения арктического пространства, выполняет функции по вывозу сырья, обеспечению «северного завоза» товаров и продовольствия, поддержанию качества жизни проживающего в Арктике населения.

Ключевые слова: *Российская Арктика, стратегия развития, Северный морской путь.*

Введение

Площадь арктического пространства РФ, включающего сухопутные территории и акватории Северного Ледовитого океана, превышает 9 млн км², это

самый большой показатель среди стран, имеющих арктическое побережье и второй после Канады показатель длины арктического побережья.

Для отдаленных территорий Арктической зоны РФ (АЗРФ, Арктической зоны) (Ненецкого (НАО), Ямало-Ненецкого (ЯНАО), Чукотского автономных округов (ЧАО), Республики Саха (Якутия) морской и связанный с ним речной транспорт являются безальтернативными для завоза генеральных грузов, топлива, товаров народного потребления, строительных материалов, запчастей и оборудования в короткий период летней навигации. На долю морского и речного транспорта приходится от 70% (Крайний Север Красноярского края) до 95% (северо-восточные районы АЗРФ) грузоперевозок [5, с. 311].

Объекты и методы

В арктической стратегии РФ 2020 г. одной из особенностей, определяющей разработку подходов к обеспечению национальной безопасности России в Арктике, определена «устойчивая географическая, историческая и экономическая связь с Северным морским путем» [6, с. 2]. Федеральный закон от 28 июля 2012 г. № 132 определяет Северный морской путь (СМП, Севморпуть) как национальную транспортную коммуникацию России в Арктике. СМП в федеральном законе это «...водное пространство, прилегающее к северному побережью Российской Федерации, охватывающее внутренние морские воды, территориальное море, прилежащую зону и исключительную экономическую зону Российской Федерации и ограниченное с востока линией разграничения морских пространств с Соединенными Штатами Америки и параллелью мыса Дежнева в Беринговом проливе, с запада меридианом мыса Желания до архипелага Новая Земля, восточной береговой линией архипелага Новая Земля и западными границами проливов Маточкин Шар, Карские Ворота, Югорский Шар» [8]. В соответствии с федеральным законом создана Администрация СМП. В 2022 г. в составе Государственной корпорации «Росатом» создано Главное управление СМП с широкими полномочиями по регулированию использования СМП.

С 2017 г., в соответствии с федеральным законом, суда под российским флагом имеют исключительное право на перевозку и хранение углеводородов в акватории СМП. В 2022 г. принят федеральный закон о порядке прохода иностранных некоммерческих судов по Севморпути. С этого года на СМП может одновременно находиться не более одного иностранного военного корабля или иного государственного судна, у которого нет цели зайти в какой-либо порт или военно-морскую базу. Зарубежные военные корабли должны уведомлять Россию за 90 дней до даты предполагаемого прохода по СМП; иностранные подводные корабли должны следовать на поверхности под своим флагом; РФ имеет право приостанавливать проход иностранных военных кораблей и других государственных судов в территориальном море и внутренних водах с использованием навигационных предупреждений [7]. Принятие закона представляется оправданным на фоне усиления военного присутствия, развития группировок Вооруженных сил США и других стран – членов НАТО в арктическом регионе. Такая политика не соответствует интересам России, в

нашей арктической стратегии подчеркивается, что Арктика – это зона мира и безопасности [6].

Обсуждение результатов

На устойчивое, то есть экономически выгодное и экологически безопасное функционирование СМП влияют три основных фактора: изменение климата, санкции недружественных государств, государственная политика.

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), Росгидромета последние 50 лет являются самыми теплыми в Арктике за весь период метеонаблюдений. В августе 2007 г., за месяц до окончания сезона таяния, было зарегистрировано самое большое сокращение площади и мощности морского льда в Арктике за всю историю наблюдений – более одного миллиона квадратных километров. Минимум морского льда в Арктике был зарегистрирован в сентябре 2012 г.: 3,41 млн км², что на 760 тыс. км² меньше прежнего минимума 18 сентября 2007 г. (площадь морского льда в Северном Ледовитом океане в 1979 г. составляла 7,3 млн км²) [2, с. 16]. Повышение средней приземной температуры в Арктике в период с 1979 г. по 2019 г. было в два – четыре раза выше, чем в среднем в мире за этот период (более 3,1⁰) и выше, чем сообщалось в аналогичных отчетах ранее. В районах Северного Полярного круга наблюдается повышение экстремально высоких температур и снижение числа случаев экстремально холода. Холодные периоды, продолжительностью более 15 дней, почти полностью исчезли в Арктике с 2000 г. Снижение площади и мощности морского льда (как припая, так и дрейфующего) в целом может позитивно сказаться на развитии судоходства в Арктике, на СМП и Северо-Западном проходе (вдоль северного побережья Аляски и Канады) [2, с. 17].

В 2021 г. по данным Администрации СМП было выдано 1115 разрешений на плавание в акватории СМП, что на 18% больше, чем в 2020 г. В 2021 г. по СМП прошли 75 судов под иностранным флагом (в 2020 г. – 42 судна), при этом в ноябре на трассах находилось одновременно 58 судов – втрое больше, чем в ноябре 2020 года. Чаще остальных СМП пользовались немецкие, норвежские, швейцарские, китайские и голландские судоходные компании. Транзитные грузоперевозки превысили 2 млн т (в 2020 г. – около 1 млн т), основу которого составлял железорудный концентрат, доставляемый из Мурманска и Канады в Китай [1].

Вместе с тем, в течение второй половины XX – начала XXI вв. температурные тренды в арктическом регионе имеют региональную специфику. Так, к началу зимы 2008 г. площадь распространения льдов в морях Северного Ледовитого океана, в том числе Центральном Арктическом бассейне, увеличилась на 1 млн км² по сравнению с аналогичным показателем 2007 г. [2, с. 34]. В 2022 гг., по данным ВМО и ААНИИ, площадь покрытия морским льдом в Арктике была выше, чем до 2020 г., но остается ниже среднего многолетнего показателя.

Разнонаправленность климатических процессов в разных частях Арктики обуславливает неопределенность долгосрочных метеорологических прогнозов. Это ставит вопрос об экономической целесообразности строительства нового

типа атомных ледоколов «Лидер» для их использования в Арктике исключительно в гражданских целях. В условиях сокращения площади и мощности льда ледокольное обеспечение СМП может быть меньше запланированного [2].

С развитием добычи минерального сырья в Восточном секторе Арктики перед морским транспортом России были поставлены задачи, предусматривающие продление арктической навигации, обеспечивающей доставку грузов в срок и при любых ледовых условиях. В настоящее время в акватории СМП работает семь атомных ледоколов, три из которых - самые новые в мире («Арктика», «Урал», «Сибирь»). К 2035 г. войдут в строй «Якутия» и «Чукотка».

В течение XX в. развитие СМП было неравномерным, происходило по мере освоения минеральных, топливно-энергетических и лесных ресурсов советского Севера. Пик грузоперевозок был пройден в 1987 г. (6,5 млн т). После 2014 г. СМП демонстрирует рост грузоперевозок, достигший в 2022 г. 33,8 млн т. В 2022 г. морские порты Арктического морского бассейна увеличили грузооборот: было перевезено 98,5 млн т грузов (в 2021 г. – 94,3 млн т, 2020 г. – 96 млн т, 2019 г. – 104 млн т), из них сухих грузов – 29,4 млн т, наливных – 69,1 млн т. Порт Мурманск в 2022 г. обработал 56,3 млн т грузов (в 2021 г. – 54 млн т), Сабетта – 28,4 млн т (19,7 млн т), Архангельск – 6,6 млн т (3,2 млн т), Варандей – 6,0 млн т (4,9 млн т), Дудинка – 4,2 млн т, Тикси – 670 тыс. т (2021 г. – 420 тыс. т), Певек – 380 тыс. т (2021 г. – 360 тыс. т) [1].

Основной вклад в формирование грузопотока по СМП вносят перевозки сырой нефти, сжиженного природного газа (СПГ) проектов ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ 2», генеральные грузы (технологическое оборудование, строительные материалы для населения и реализации арктических мегапроектов), железорудный концентрат, древесина, пиломатериалы, каменный уголь.

В 2019 г. Правительство РФ утвердило План развития инфраструктуры по СМП до 2035 года. План сформирован исходя из прогноза существующих и перспективных грузопотоков, формирующихся компаниями, реализующими мегапроекты в АЗРФ: ПАО «Новатэк», ПАО «Газпром», ПАО «ГМК «Норильский никель», ООО «УК «ВостокУголь», ООО «ГДК «Баимская», ООО «Восток Инжиниринг» (всего – более 80 мероприятий) [3].

Согласно плану, предстоит разработать программу геологического изучения участков недр АЗРФ, что позволит достичь целевых показателей (определенных Указами Президента РФ, государственными и корпоративными стратегиями и программами развития Арктической зоны РФ) грузоперевозок по СМП до 80 и более млн т [6].

Согласно плану, к 2024 г. будут введены в эксплуатацию десятки спасательных, гидрографических, дноуглубительных судов ледовых классов, в т.ч. головной ледокол проекта «Лидер», мощностью 120 МВт.

В соответствии с задачами, к 2035 г. будет проведена реконструкция морских портов – самого «слабого звена» СМП в Архангельской и Мурманской

областях, арктической зоне Республики Саха (Якутия), на Чукотке (порт Певек), ЯНАО, Крайнем Севере Красноярского края (порт Диксон, терминалы «Енисей» и «Бухта Север»).

Планом развития инфраструктуры СМП (как и арктической стратегией РФ) предусмотрена модернизация аэропортов, создание на побережье и островах Арктической зоны комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России и оснащение их современными спасательными средствами. Предстоит решить проблемы спутниковой связи, дистанционного зондирования и получения гидрометеорологических данных высокого разрешения на территориях, расположенных севернее 70°с.ш.

К мероприятиям плана можно добавить проекты по развитию портовой и промышленной инфраструктуры, реализуемые совместно государством и частным бизнесом. Они могут привести к существенному увеличению грузооборота на СМП, способствовать его инфраструктурному обустройству, развитию международного сотрудничества в Арктике. Такие проекты начаты в Мурманской и Архангельской областях, во всех автономных округах Арктической зоны. В 2022 г. Правительством РФ был утвержден План развития СМП до 2035 г. Более 150 мероприятий связаны с Планом развития инфраструктуры СМП и разделены на пять разделов: «Грузовая база», «Транспортная инфраструктура», «Грузовой и ледокольный флот», «Безопасность судоходства по Северному морскому пути», «Управление и развитие судоходства по Северному морскому пути» [4].

Выводы

В заключение отметим, что перед Россией в XXI в. стоит задача организации такого судоходства в Арктике, которое позволило бы эффективно решать стратегические задачи освоения этого региона; было бы экономически эффективным, как для государственных структур, так и для бизнеса; обеспечивало безопасность мореплавания и защиту окружающей среды; не нарушало бы другие стратегические интересы государства и соответствовало нормам международного права (Конвенции по морскому праву 1982 г. и другим документам в области арктического судоходства).

Литература

[1] Ассоциация морских торговых портов России. Статистические данные. URL: <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-12-mesyacev-2022-g>. (дата обращения: 12.02.2023).

[2] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2014. 62 с. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52> (дата обращения: 10.08.2022).

[3] План развития инфраструктуры по Северному морскому пути до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 30 декабря 2019 года № 3120 URL: <http://static.government.ru/media/files/pdf> (дата обращения: 11.11.2022).

- [4] План развития Северного морского пути до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 1 августа 2022 года № 2115. URL: <http://static.government.ru/media/files/.pdf> (дата обращения: 11.11.2022).
- [5] Российская Арктика: современная парадигма развития / Под ред. акад. А.И. Татаркина. СПб.: Нестор – История, 2014. 844 с.
- [6] Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (утверждена Указом Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (дата обращения: 10.06.2020).
- [7] Федеральный закон от 5 декабря 2022 г. № 510 «О внесении изменений в Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации». URL: <https://rg.ru/documents/2022/12/09/inostrannie-korabli-sevmorput-site-dok.html> (дата обращения: 10.02.2023).
- [8] Федеральный закон РФ от 28 июля 2012 г. № 132 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории СМП». URL: <https://rg.ru/documents/2022/11/09/inostrannie-korabli-sevmorput-site-dok.html> (дата обращения: 10.02.2023).

S u m m u r y. The strategic objectives of the development of the Arctic zone of the Russian Federation involve the implementation of investment projects in this region for the development of mineral resources and the development of transport infrastructure (megaprojects), primarily in the area of the Northern Sea Route and its ports. Economic activity in the Arctic is developing against the background of rapid and irreversible changes in the natural, economic and geopolitical spheres. Transport, being a key factor in the development of the Arctic, performs the functions of exporting raw materials, ensuring the «northern import» of goods and food, maintaining the quality of life of the population living in the Arctic.

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ОТТАИВАНИЯ И ЗАМЕРЗАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПО ДАНЫМ СПУТНИКА SMOS

А.С. Печкин¹, А.С. Красненко², С.А. Старостин³, С.И. Старостина⁴,
Н.А. Сировадко⁵

¹ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Надым, a.pechkin.ncia@yandex.ru

²ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Надым, aleks-krasnenko@yandex.ru

^{3,4}ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, s.starostin@g.nsu.ru

⁵ТюмГУ, г. Тюмень, sirovadko.nikita@mail.ru

DYNAMICS OF THE PROCESSES OF THAWING AND FREEZING OF THE UNDERLYING SURFACE OF THE ARCTIC ZONE ACCORDING TO THE SMOS SATELLITE

A.S. Pechkin¹, A.S. Krasnenko², S.A. Starostin³, S.I. Starostina⁴, N.A. Sirovadko⁵

^{1,2}GAU YANAO «Scientific Center for the Study of the Arctic», Nadym

^{3,4}Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk

⁵University of Tyumen, Tyumen

Аннотация. Исследованы процессы замерзания и оттаивания подстилающей поверхности территории ЯНАО при помощи дистанционного зондирования. Получены точные данные периодов с 2015 по 2017 гг.

Ключевые слова: радиояркостные температуры подстилающей поверхности, процессы оттаивания и замерзания, SMOS, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Введение

За последние годы на территории Западной Сибири наблюдаются существенные ландшафтные изменения, происходящие под действием природных и антропогенных факторов и ведущие к возникновению опасных природных явлений. Вероятными причинами их возникновения являются глобальные и региональные изменения климата [1-2]. Мониторинг климатических изменений на Арктических и Субарктических ландшафтах показывает, что наблюдаемые изменения связаны с изменением количества осадков и вариациями температуры, деградацией многолетней мерзлоты и тундровой растительности и др [3]. Важную роль в эмиссии природных парниковых газов играют сезонные процессы оттаивания и замерзания тундры, так как от того, на сколько дней остается «открытая» от снега подстилающая поверхность тундры, на столько и увеличивается оттаивание многолетнемерзлых пород и выделение метана и углекислого газа [4].

С запуском искусственных спутников Земли, оснащенных микроволновыми радиометрами, стало реальным получение ежедневных спутниковых данных независимо от метеорологических условий. Использование этих данных позволяет изучить сезонную динамику процессов, происходящих в разных ландшафтах циркумполярной зоны, рассчитать многолетние тренды этих изменений, осуществить прогнозную оценку вероятности возникновения опасных природных явлений [5-7].

Объекты и методы

Объектом исследования являлась западная часть территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), охватывающая полуостров Ямал (южная тундра), нижнее течение Оби (лесотундра) и юг округа (северная тайга) (рис. 1).

Для определения значений радиояркостных температур подстилающей поверхности использовались данные спутника SMOS (продукт L1C) [8]. Измерения выполняются пассивным радиометром MIRAS на частоте 1,41 ГГц и калибруются в единицах радиояркостных температур. Высота орбиты спутника составляет 763 км. Погрешность определения данных спутника изменяется от ± 3 К в центре до ± 6 К на краях полосы захвата, ширина которой 890 км. Съемка исследуемой территории производится 2-3 раза в сутки в диапазоне углов зондирования от 0° до 55° на горизонтальной и вертикальной поляризации. Линейный размер ячейки сетки составляет ~ 16 км, площадь ячейки ~ 195 км². Снимки SMOS предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проекта ESA № 4747 «Remote mapping of Siberian saline soils» [9]. В исследовании использовались данные L1C SMOS, полученные при измерении восходящего

излучения на горизонтальной поляризации под углом зондирования $42,5^\circ$ с пространственным разрешением около 40 км [3, 10].

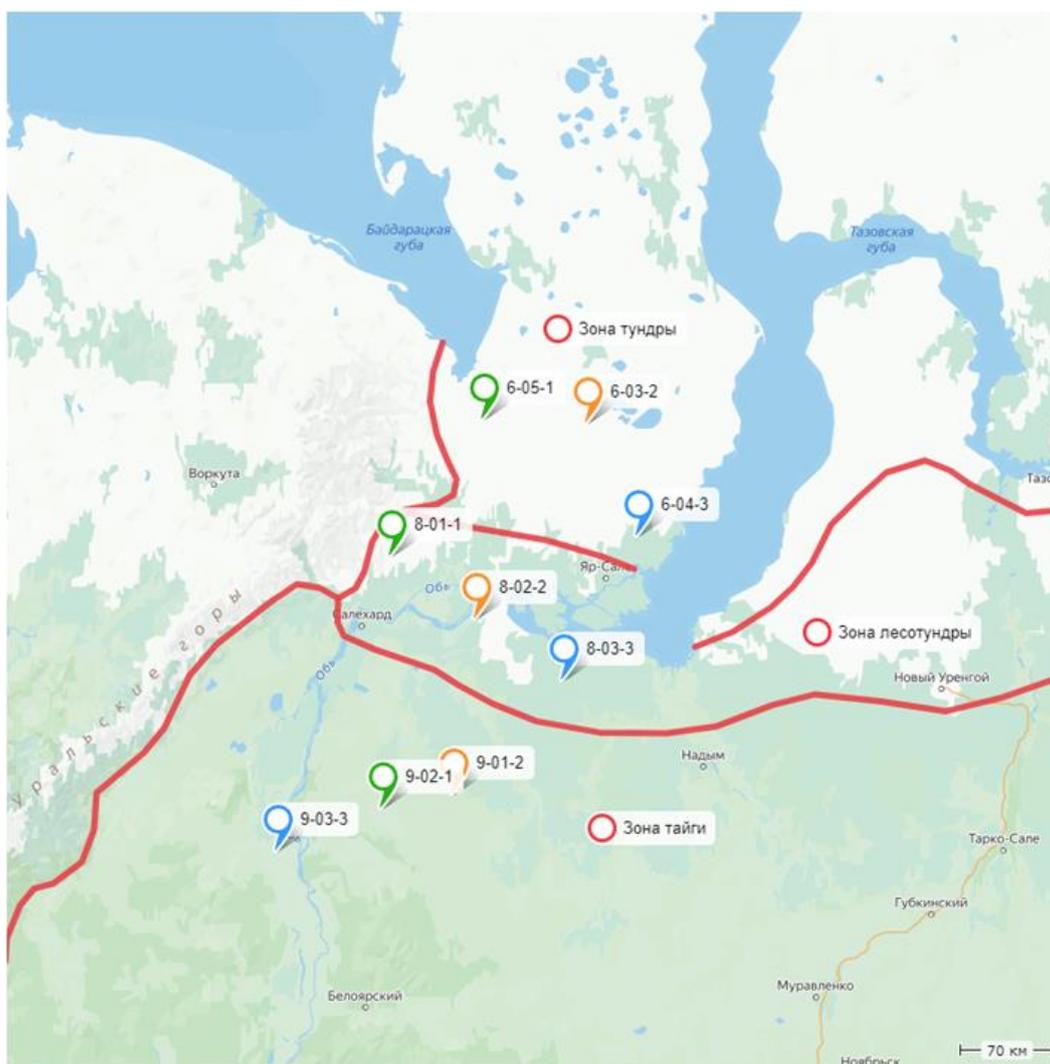


Рис. 1. Схема точек мониторинга радиоярких температур, где зеленым цветом указаны водораздельные участки, оранжевым цветом – склоны, синим цветом – долины.

Данные радиоярких значений были получены в период с 2015 по 2017 года с 9 участков, расположенных на разных ландшафтах и на разных формах рельефа (склон, водораздел, долина). На тестовых участках, попадающих в пиксель спутника, измеряли физические параметры подстилающей поверхности, проводили измерения диэлектрических характеристик для проведения калибровки спутниковых микроволновых данных.

Обсуждение результатов

На основе многолетней сезонной динамики были определены сдвиги дат резких изменений радиоизлучательных характеристик, а также продолжительности периодов замерзания / оттаивания территорий, расположенных в разных природных зонах и формах рельефа (рис. 2).

На 9 исследованных участках выделены пять периодов:

1 период – «Зимнее плато» – с начала октября - ноября по конец марта-апреля, в течение которого постоянные значения радиоярких температур варьируют в пределах доверительных интервалов от 220 до 260 кельвинов, или обнаруживается слабовыраженный положительный тренд в течение этого периода.

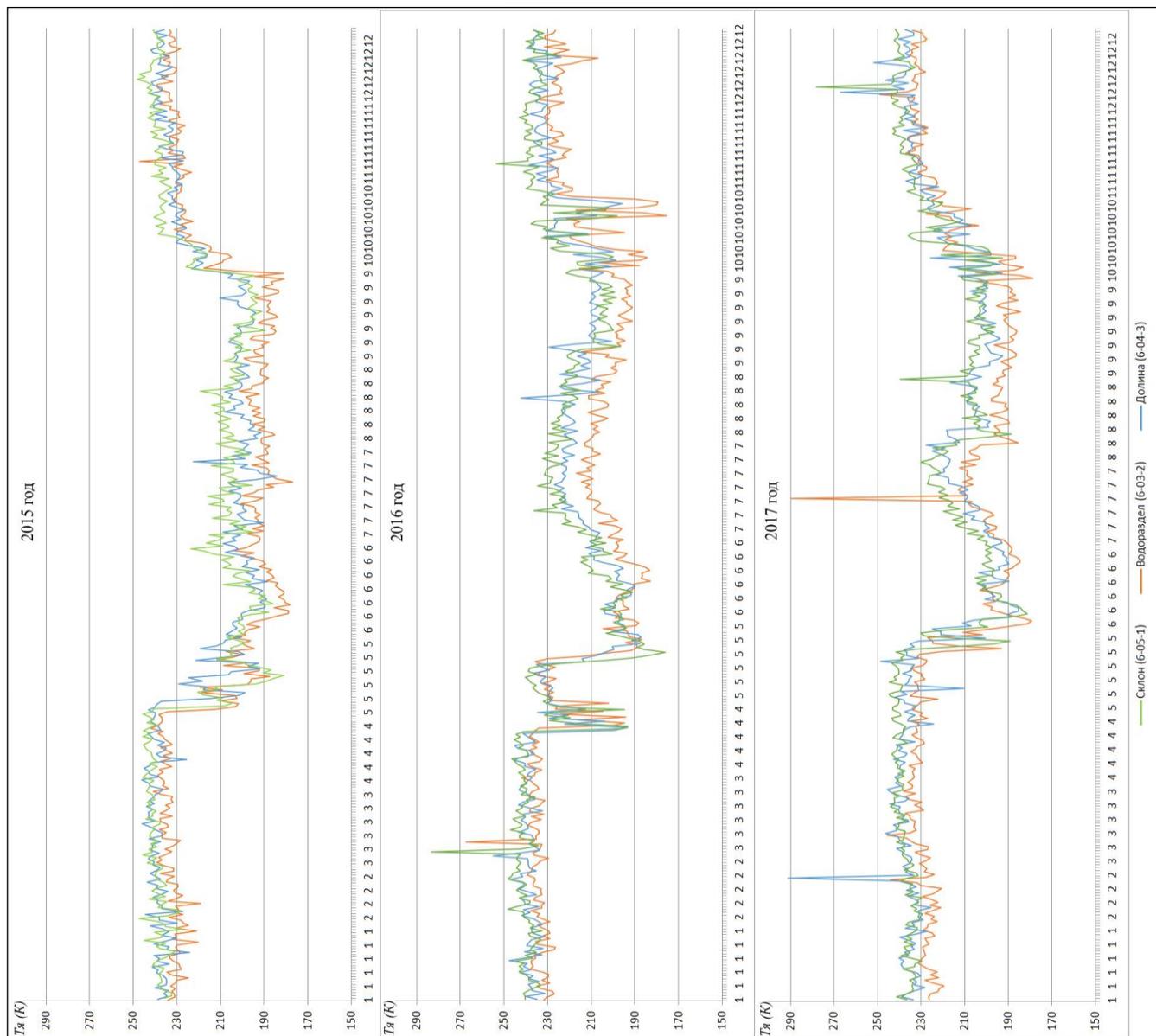


Рис. 2. Данные сезонной динамики радиоярких температур на территории южной тундры в период с 2015 по 2017 гг.

2 период – «Весеннее таяние» – относительно быстрый (от 7 до 30, а на отдельных участках до 50 дней), где происходит «спад» радиоярких температур, и может достигать до 150 К, в результате таяния сезонного снежного покрова и вскрытия рек ото льда. Отрицательная динамика достаточно резко сменяется положительной. Рост $T_{Я}$ происходит чуть медленнее и не во всех случаях монотонно.

3 период – «1-й Летний» – наблюдается разная динамика $T_{Я}(JD)$, вид которой зависит от вегетационных циклов растительности. Максимальное

значение $T_{я}$, может соответствовать максимальному цветению территории или максимальному росту растительности и экранированию ею поверхности.

4 период – «2-й Летний» – связан с увяданием растительности, где также наблюдается спад значений, но в отличие от 2 периода минимальные значения могут достигать до нескольких недель.

5 период – «Осенний» – здесь происходит рост значений и выравнивание графиков до 1-го периода. Вид сезонной динамики значений зависит от особенностей промерзания почвенно-растительного покрова.

Выводы

За 3 года наблюдений динамика процессов оттаивания и замерзания остается сравнительно стабильной.

При рассмотрении динамики сезонов наблюдаются небольшие отличия в 2016-м году во всех природных зонах: в виде уменьшения зимнего периода, за счет увеличения переходных (весна, осень).

В тундровой зоне значения радиоярких температур на разных формах рельефа не имеют значительных отличий, что связано с однообразным мохово-лишайниковым покровом.

В лесотундровой зоне наибольшие отличия радиоярких температур наблюдаются на водоразделе, что связано как с растительностью, так и с лучшими условиями прогрева и дренажем. Отличий между склоном и долиной, как и в тундровой зоне практически не наблюдаются.

В таёжной зоне наблюдаются достаточно сильные отличия радиоярких температур между склоном, водоразделом и особенно долиной, что также связано с растительным покровом и влиянием водного объекта, здесь в пиксель попадает часть долины р. Обь.

Наибольшие расхождения показателей радиоярких температур наблюдаются в период активной вегетации (3 период), что связано с активным развитием растительного покрова. Единичные сильные колебания вероятнее всего связаны с антропогенным воздействием.

Литература

[1] Печкин А.С., Романов А.Н., Хвостов И.В., Печкина Ю.А., Кобелев В.О. Изменения пространственного распределения радиоярких температур акватории Карского моря по данным спутника SMOS в разные периоды 2016 года // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017. № 2 (95). С. 49-54.

[2] Космический мониторинг арктических и субарктических территорий Ямало-Ненецкого автономного округа / А.Н. Романов, И.В. Хвостов, П.Н. Уланов [и др.]; Институт водных и экологических проблем СО РАН, Департамент по науке и инновациям ЯНАО, Научный центр изучения Арктики. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2018. 120 с.

[3] Печкин А.С., Печкина Ю.А., Кобелев В.О., Красненко А.С. О применимости микроволновых методов для мониторинга процессов оттаивания и замерзания арктических и субарктических ландшафтов (на примере Гыданского

полуострова Ямало-Ненецкого автономного округа) // Экологический мониторинг и биоразнообразие, Ишим: Изд-во ИПИ им. П.П. Ершова (филиала) ТюмГУ, 2018. С. 30-34.

[4] Романов А.Н., Хвостов И.В., Ковалевская Н.М. и др. Первые результаты космического микроволнового мониторинга вечной мерзлоты и тундровой растительности Гыданского полуострова // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 4(93). С. 68-76.

[5] Романов А.Н., Хвостов И.В., Трошкин Д.Н. и др. Разработка системы космического микроволнового мониторинга опасных гидрологических явлений в Западной Сибири // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. 2018. № 4(100). С. 15-18.

[6] Atmospheric CH₄ in the first decade of the 21st century: inverse modeling analysis using SCIAMACHY satellite retrievals and NOAA surface measurements [Electronic resource] / P. Bergamaschi, S. Houweling, A. Segers [et. al.] // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. Vol. 118. P. 7350-7369.

[7] ESA's Soil Moisture and Ocean Salinity Mission: Mission Performance and Operations // S. Mecklenburg, M. Drusch, Y. Kerr et. al. / IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2012. Vol. 50, № 3. Pp. 606-612.

[8] Gutierrez A., Castro R. (2010). SMOS L1 Processor L1c Data Processing Model. SO-DSDME-L1PP-0009, Issue 2.7, 31 May 2010. URL: <http://www.smos.com.pt/downloads/release/documents/SO-DS-DME-L1PP-0009-DPM-L1c.pdf>

[9] Rocco Panciera et al. A proposed extension to the soil moisture and ocean salinity level 2 algorithm for mixed forest and moderate vegetation pixels // Remote Sensing of Environment, Volume 115, Issue 12, 15 December 2011, Pp. 3343-335.

[10] Sahr K., White D., Kimerling A.J. Geodesic Discrete Global Grid Systems // Cartography and Geographic Information Science, vol. 30, pp. 121-134, 2003.

S u m m a r y. The processes of freezing and thawing of the underlying surface of the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous District using remote sensing are investigated. The exact data of the periods from 2015 to 2017 were obtained.

ЛИМНОЛОГИЯ И МЕРОМИКТИЧЕСКИЕ ОЗЁРА РОССИИ

LIMNOLOGY AND MEROMICTIC LAKES IN RUSSIA

ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЗ. ЛЕЩЕВОЕ В ИЮНЕ 2022 г.

Н.М. Аниканов, В.И. Хлебко, А.С. Яковлев, А.В. Бабин, Е.Ю. Воякина
РГГМУ, г. Санкт-Петербург, nik1anikanov@gmail.com

LIMNOLOGICAL PARAMETERS OF LESCHOVOYELAKE IN JUNE 2022

N.M. Anikanov, V.I. Khlebko, A.S. Yakovlev, A.V. Babin, E.Y. Voyakina
RSHU, St. Petersburg

Аннотация. В работе представлены результаты исследования лимнологических параметров оз. Лещевое, полученные при прохождении производственной практики студентов РГГМУ на Учебно-научной станции «Валаам» в июне 2022 года. Полученные результаты отражают динамику снижения значений рН и максимальных значений прозрачности, установленную с началом проведения мелиоративных работ на водосборе озера в 2015 г.

Ключевые слова: Ладожское озеро, Валаамский архипелаг, малые озера, гидрохимические параметры, мониторинг.

Введение

Валаамский архипелаг входит в состав ООПТ регионального значения республики Карелия. В последние годы отмечается увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы о. Валаам в результате интенсификации хозяйственной деятельности Валаамского монастыря [6]. Таким образом, вопрос об охране уникальных экосистем о. Валаам с каждым годом становится всё более актуальным. Одним из внутренних озёр острова, на водосборную площадь которого оказывается значительное воздействие, является оз. Лещевое. С 2015 года здесь проводятся мелиоративные мероприятия. Данное обстоятельство определяет высокую актуальность проведения мониторинговых исследований оз. Лещевое.

Цель работы: описать лимнологические параметры оз. Лещевое по данным мониторинговой съёмки июня 2022 года.

Объекты и методы исследования

Объектом данного исследования является оз. Лещевое, расположенное в южной части Валаамского архипелага. Оно соединяется с Ладожским озером через Лещевую протоку и с оз. Сисяярви через протоку Иордан. Это второй по величине внутренний водоем Валаамского архипелага с площадью зеркала 0,24 км² и водосборной площадью 2,45 км². Для озера характерно активное развитие макрофитов, занимающих до 15% его акватории [4].

Отбор проб воды проводился в период с 26.06.2022 по 30.06.2022 на 18 станциях, равномерно распределённых по площади озера. Определение гидрохимических параметров проводилось по стандартным методикам [1]. Прозрачность определялась при помощи белого диска. Температура измерялась при помощи погружного термодатчика. Определение индекса трофического состоя-

ния (ИТС) осуществлялось по среднему значению прозрачности [7]. Классификации выполнялись согласно С.П. Китаеву [2]. Визуализация полученных материалов проводилась в ГИС-программах QGIS 3.20.3 и SAGA GIS 7.8.2.

Обсуждение результатов

Для оз. Лещевое характерны большой диапазон глубин и пространственная изменчивость лимнологических параметров (таблица 1 и рис. 1).

Таблица 1. Средние значения и диапазоны изменчивости лимнологических параметров оз. Лещевое в июне 2022 года

Параметр	Поверхность	Дно
Температура, °С	25,5 (24,1-29,3)	17,2 (9,4-21,3)
рН	6,3 (6,0-6,5)	6,1 (5,8-6,5)
Концентрация растворённого кислорода, мг/л	8,1 (6,5-9,0)	7,0 (0,2-9,4)
Процент насыщения воды кислородом, %	99 (78-112)	73 (2-99)
Концентрация растворённого углекислого газа, мг/л	4,4 (2,6-6,2)	8,2 (3,9-53,7)
Перманганатная окисляемость, мгО/л	20,8 (16,5-28,0)	20,0 (16,5-27,4)
Электропроводность, мкСм/см	57,6 (54,5-61,4)	58,7 (54,5-67,5)
Площадь зеркала, км ²	0,24	
Глубина, м	2,4 (0,5-6,9)	
Прозрачность, м	0,9 (0,7-1,2)	
Индекс трофического состояния	62	

Средняя глубина – 2,4 м, максимальная – 6,9 м. Участки с глубиной менее 3 м занимали около 80% площади озера, с глубиной более 5 м – 7%. В период исследования ярко выраженная температурная стратификация наблюдалась только в восточной части озера на станциях с глубинами более 5 м. Значения температуры поверхностного слоя воды варьировали от 24,1 до 29,3°С, придонного слоя – в пределах от 9,4 до 21,3°С. Значения прозрачности воды были невысокие (0,7-1,2 м), что характерно для периода наблюдений 2015-2019 гг. (0,6-1,2 м), и несколько отличается от периода 1998-2014 гг. (0,6-1,7 м) [3].

Содержание кислорода в поверхностном слое воды находилось на пороговой отметке между средним и высоким значением (процент насыщения 99%). Зафиксировано практически полное отсутствие растворённого кислорода в придонном горизонте наиболее глубокого участка озера (глубина 6,9 м, содержание растворённого кислорода – 0,22 мг/л), в котором проводятся многолетние мониторинговые наблюдения (станция NE на рис. 1).

В целом для озера было характерно среднее содержание углекислого газа в поверхностном горизонте (4,4 мг/л) и высокое в придонном (8,2 мг/л). Отмечено очень высокое содержание углекислого газа в придонном горизонте мониторинговой станции NE (53,7 мг/л). Согласно многолетним наблюдениям, подобное распределение значений концентраций растворённого кислорода и углекислого газа типично для оз. Лещевое [3-5].

Значения содержания органического вещества, определяемого методом перманганатной окисляемости, варьировали от 16,5 до 28,0 мг О/л, электропроводности – в пределах от 54,5 до 67,5 мкСм/см. По индексу трофического состояния оз. Лещевое относится к группе эвтрофных озёр (ИТС=62). Значения данных параметров согласуются с их многолетними диапазонами изменчивости [3-5].

Оз. Лещевое относится к группе кисдно-нейтральных озёр (среднее значение рН в поверхностном горизонте 6,3, в придонном – 6,1), однако в придонных горизонтах станций 5, 6, 7, NE и 14 значения рН опускались ниже 6, достигая 5,8 на станции 14. Полученные значения отражают динамику снижения значений рН, зафиксированную с 2015 года [3].

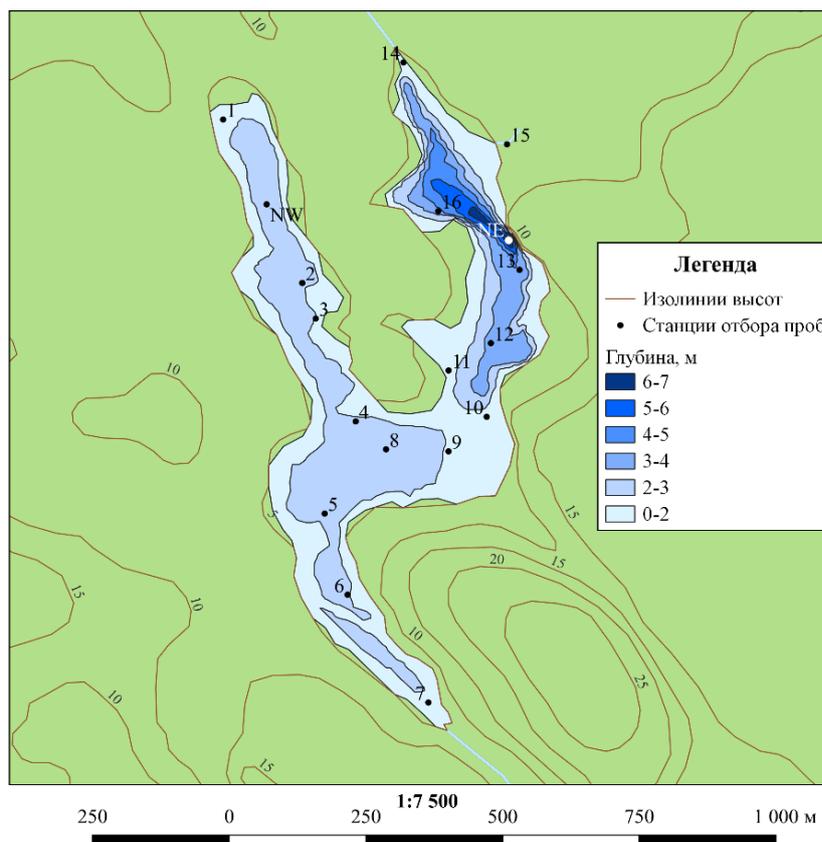


Рис. 1. Расположение станций отбора проб.

Для полученного ряда гидрохимических параметров выполнен расчёт коэффициентов вариации (C_v) и их относительных погрешностей (δC_v). Наибольшим постоянством значений отличались рН и электропроводность ($C_v=0,03$, $\delta C_v=16,7\%$). В поверхностном горизонте наибольшей изменчивостью отличались значения растворённого углекислого газа ($C_v=0,17$, $\delta C_v=16,9\%$) и перманганатной окисляемости ($C_v=0,14$, $\delta C_v=16,8\%$), в придонном горизонте – содержание растворённого кислорода ($C_v=0,30$, $\delta C_v=17,4\%$) и углекислого газа ($C_v=1,39$, $\delta C_v=28,6\%$). Распределение значений коэффициентов вариации может быть связано с затруднённым вертикальным перемешиванием и более интенсивным разложением органических веществ в глубоководных участках озера по сравнению с мелководными.

Для оз. Лещевое и других малых озер Валаамского архипелага характерны низкие значения прозрачности и высокое содержание общего органического вещества, что типично для малых лесных озер Карелии [6].

Выводы

Значения большинства лимнологических параметров, полученные в июне 2022 года, согласуются с данными мониторинга оз. Лещевое в период с 1998 по 2014 г., когда озеро сохраняло режим функционирования, близкий к фоновому. Снижение рН и максимальных значений прозрачности, установленное с началом проведения мелиоративных работ в 2015 г. [3], отмечено и в июне 2022 г.

В целях сохранения естественного режима функционирования и предотвращения необратимых изменений оз. Лещевое необходима корректировка хозяйственной деятельности на водосборе озера и продолжение мониторинговых исследований данной акватории.

Литература

- [1] *Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л. 1973. 210 с.
- [2] *Китаев С.П.* «Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов» Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 395 с.
- [3] Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Ред. С.А. Кондратьев, В.А. Румянцев. М., 2021. 637 с.
- [4] *Чернышев А.Н.* Особенности лимнологических параметров системы «Лещевое озеро – Лещевый залив» в период максимального прогрева воды (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) / А.Н. Чернышев, В.О. Сергеева, А.К. Котова и др. // Гидрометеорология и экология. 2020, № 61. С.460-479.
- [5] *Чернышев А.Н.* Межгодовая изменчивость характеристик зоопланктона и ряда гидрохимических параметров оз. Лещевое (о. Валаам, Ладожское озеро) // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. РГГМУ. 2020. С. 792-794.
- [6] Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. А.Б. Степановой. СПб.: РГГМУ, 2016. 44 с.
- [7] *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnol. Oceanog.* 1977, v. 11. P. 361-369.

S u m m a r y. The paper presents the results of a research of the limnological parameters of Lake Leschovoye which was held on Educational and Scientific Station «Valaam» by students of RSHU during the industrial practice in June 2022. Presented results reflect the dynamics of the decrease in values of pH and maximum values of transparency, established with the start of reclamation work in the catchment zone of the lake in 2015.

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ОЗЕРЕ ВЕНДИОРСКОЕ (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

Н.А. Белкина^{1,2}, М.С. Потахин^{1,2}, Д.А. Субетто², А.В. Рябинкин¹, В.И. Кухарев¹,
И.Ю. Кравченко¹, Н.В. Кулик¹, Н.А. Ефременко¹, Е.В. Гатальская¹

¹Карельский научный центр РАН, г. Петрозаводск, *mpotakhin@mail.ru*

²РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

PROCESSES OF FORMATION OF BOTTOM SEDIMENTS IN LAKE VENDY- URSKOYE (SOUTH KARELIA)

N.A. Belkina^{1,2}, M.S. Potakhin^{1,2}, D.A. Subetto², A.V. Ryabinkin¹, V.I. Kuharev¹,
I.Y. Kravchenko¹, N.V. Kulik¹, N.A. Efremenko¹, E.V. Gatalskaya¹

¹Karelian Research Center of RAS, Petrozavodsk

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. Выполнены исследования на Вендюрском озере, включающие изучение химического состава воды, взвешенного вещества из седиментационных ловушек и донных отложений. В результате работ были оценены условия и скорость осадконакопления, геохимическая обстановка в донных отложениях и потоки вещества на границе вода – дно.

Ключевые слова: химический состав воды и донных отложений, седиментационные ловушки, ранний диагенез.

Введение

Донные отложения, процесс формирования которых зависит в первую очередь от климата, содержат информацию о развитии озера и его водосборной территории. По данным климатологов в настоящее время средняя годовая температура на Северо-Западе России растет в 2.5 раза быстрее, чем во всем мире. В связи с этим изучение донных отложений с целью выявления изменений, происходящих в озерах в условиях климатических колебаний и антропогенного воздействия, является актуальной научной задачей. Озеро Вендюрское было выбрано как пример водоема, функционирующего в типичных ландшафтных условиях краевой зоны валдайского оледенения с целью получения новых знаний о закономерностях развития лимнических систем на территории Севера России в настоящее время.

Регион исследований, объекты и методы

Озеро Вендюрское принадлежит к бассейну Балтийского моря, расположено в нижней части водосбора р. Суна – притока Онежского оз. в северо-западной части Вохтозерской ледораздельной аккумулятивной возвышенности, относящейся к краевой зоне невской стадии валдайского оледенения. Координаты центра: 62°13' с.ш., 33°16' в.д. Площадь водосбора 79.8 км². Высота над уровнем моря 143.8 м БС. Котловина ледникового происхождения. В озеро впадают две протоки из озер Риндозеро и Глубокого, вытекает р. Кулапдеги, а также канал, соединяющий его с оз. Сяргозеро. Основные морфометрические характеристики водоема: площадь зеркала озера 10.1 км², объем озера 0.0609 км³, длина озера 7.0 км, ширина 1.4 км, средняя глубина 6.1 м, наибольшая – 12.1 м [1].

Изучение химического состава воды, взвешенного вещества из седиментационных ловушек и донных отложений, представленных в этой статье, проводилось в рамках комплексных исследований озера в 2016-2022 гг., которые включали гидрофизические наблюдения за распределением взвешенного вещества в водной толще, георадиолокационные исследования дна озера [2], установку седиментационных ловушек (глубина 7.5 м, время экспозиции 1 год), периодический отбор проб воды и колонок донных отложений стратометром Limnos и торфяным буром. Лабораторные анализы химического состава воды и донных отложений выполнялись по общепринятым в мировой практике методикам [3].

Результаты и обсуждение

Воды озера относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция: $\frac{\text{HCO}_3\text{74 Cl14 SO}_4\text{12 A}_{\text{орг1}}}{\text{Ca44 Mg29 Na22 K5}}$. Минерализация в среднем составила 19.4 мг/л. Значение щелочности (11.6 мгHCO₃⁻/л) и величина рН воды (6.7) позволяют классифицировать его как среднещелочностное слабокислое нейтральное. По содержанию органических веществ (цветность – 26 град Pt/Co, перманганатная окисляемость – 6.5 мгО/л, ХПК – 16 мгО/л, БПК₅ – 1.13 мгО₂/л, С_{орг} – 5.4 мгС/л) – как олигогумусное. Среднее содержание биогенных элементов в воде (Р_{общ} – 18 мкг/л, N_{общ} – 0.54 мгN/л) указывает на мезотрофный статус водоема. В придонном слое воды (20 см) наблюдались повышенные концентрации фосфора (34 мкг/л), азота (1.4 мг/л) и железа (0.6 мг/л). Воды озера достаточно хорошо аэрированы, но зимой в придонных слоях наблюдается дефицит кислорода. Содержание углекислого газа также изменяется в широких пределах (0.9-73 мг/л).

Средняя скорость поступления взвешенного вещества на дно в озере Вендюрском (по данным наблюдений за седиментационными ловушками) равна 2 г/(м²сутки), что соответствует скорости осадконакопления 4 мм в год (при колебаниях от 3 до 10 мм/год). Анализ гранулометрического состава взвешенного вещества из седиментационных ловушек выявил, что в осадке преобладает мелкодисперсная иловая фракция с размером зерен 50-10 мкм. В равной мере присутствуют крупноалевритовый ил (Ø = 100-50 мкм) и мелкий песок (Ø = 250-100 мкм). Гистограммы осадков – двухвершинные.

Сравнение физических характеристик и химического состава свежесобранного взвешенного вещества из осадкоуловителей и донных отложений показало значительные отличия. В первую очередь – это более высокое содержание органического вещества и биогенных элементов (показатели органического вещества в 1.5 раза превышают их значения в поверхностном слое донных отложений). Физические и физико-химические свойства также различаются, например осадок в ловушках представляет собой обводненную аморфную неконсолидированную взвесь по сравнению с уплотненным илом донных отложений. Обращают на себя внимание относительно высокие концентрации железа и марганца (в 2 и 100 раз выше кларковых значений соответственно), наблюдаемые в настоящее время по сравнению с данными, относящимися началу столетия. Необходимо отметить, что неравномерный характер накопления этих элементов (о чем свидетельствуют периодические локальные максимумы кон-

центраций по вертикали колонки донных отложений) является характерной особенностью формирования донных осадков озера и связан, по-видимому, с изменчивостью процессов их иммобилизации и переноса с водосборной территории. Большинство исследователей связывают рост поступления Fe и Mn с растворимым гумусовым веществом почв в озера гумидной зоны с увеличением длительности вегетационного периода за счет потепления климата. Микроэлементный состав взвешенного вещества седиментационных ловушек отличается от донных осадков более высокими концентрациями кадмия, свинца и цинка, что является несколько неожиданным для лесного озера, поскольку источником этих элементов считаются продукты сгорания топлива (табл. 1).

Таблица 1. Микроэлементный состав взвешенного вещества из седиментационных ловушек (I) и донных отложений (II) оз. Вендюрское

Глубина		мг/г		мкг/г										
		Na	K	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
I	6 м	4.3	2.9	31.1	22.2	31.9	3.3	11.5	29.3	157.5	9.9	36.3	1.6	74.8
	7 м	4.2	2.8	32.5	15.9	23.4	2.5	6.9	26.6	143.9	10.8	29.1	0.0	63.7
II	2–3 см	4.3	3.2	34.2	36.6	38.3	11.7	28.8	38.8	117.0	43.7	25.5	0.0	29.2
	3–4 см	4.3	2.8	33.8	14.2	24.1	3.3	12.9	73.9	117.0	3.5	30.0	0.4	54.2
	4–5 см	4.3	2.7	32.1	11.9	31.9	4.4	6.4	27.6	48.6	3.7	28.2	0.0	23.9
	7–8 см	4.3	3.0	33.6	27.0	32.6	5.3	20.5	59.4	91.2	5.5	28.2	1.0	26.4

Значительная разница между составом вещества ловушек и донных отложений можно объяснить следующим. В донные отложения малых водоемов поступает большее количество аллохтонного материала, в результате чего на границе вода-дно активно протекает процесс минерализации органического вещества, сопровождающийся растворением минеральной части осадка. На это, например, указывает более высокая минерализация и отличный состав придонных вод в оз. Вендюрское. Разовая оценка потоков главных ионов на границе вода-дно в этом озере была проведена по диффузионной модели Фика (по градиенту концентраций ионов в поровых и надилловых водах) (табл. 2). Среднее значение солевого потока из иловых донных отложений оз. Вендюрское в весенний период оценивается в 200 мг/м² в сутки.

Таблица 2. Диффузионные потоки главных ионов и железа общего из донных отложений оз. Вендюрского, мг/(м²сутки) (расчет по модели Фика)

№ ст.	Н, м	Mn ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{общ.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
март							
2	5.5	8.6	13.0	0.5	49.3	7.5	34.7
6	11.4	0.0	34.6	3.5	26.2	7.6	44.8
7	9.4	1.3	17.3	8.6	37.3	11.2	19.3
10	7.0	2.1	19.9	9.2	89.6	8.5	26.2
апрель							
6	11.4	2.6	39.7	5.3	9.5	2.5	31.7
7	9.4	7.8	19.9	7.3	10.1	3.1	27.7
10	7.0	10.4	15.6	7.8	13.2	6.0	28.2

Заключение

Впервые были получены данные о современных процессах формирования донных отложений озера Вендюрского, определены количественные и качественные характеристики взвешенного вещества. Было выявлено, что химический состав материала, поступающего в донные отложения, отличается от состава захороненного материала. Активный процесс трансформации взвесей происходит в пограничном слое вода – донные отложения. Высокие концентрации железа и марганца при изменении кислородного режима придонных вод способствуют пространственному разделению процессов разложения органического вещества в ходе раннего диагенеза и перераспределению компонентов осадка с образованием слоев, обогащенных Fe, Mn, P, N и обладающих иными физическими характеристиками. Минералогический состав осадка и степень участия бентических сообществ в этих преобразованиях требует дальнейшего изучения.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИВПС КарНЦ РАН (FMEN-2021-0006) и госзадания РГПУ им. А.И. Герцена (VRFY-2023-0010).

Литература

- [1] Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск, 2013. 464 с.
[2] Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Марченко А.Л., Субетто Д.А., Рыбалко А.Е., Алешин М.И. Возможности георадиолокации при изучении четвертичных отложений озер Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 62-75.
[3] Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практик / Под ред. П.А. Лозовик, Н.А. Евременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

S u m m a r y. Studies have been carried out on Vendyurskoye Lake, including the study of the chemical composition of water, suspended matter from sedimentation traps and bottom sediments. As a result of the work, the conditions and the rate of sedimentation, the geochemical situation in the bottom sediments and the flux of matter at the water-bottom boundary were evaluated.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР, ОТДЕЛИВШИХСЯ ОТ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Е.А. Вахрамеева, Н.М. Кокрятская
*ФИЦКИА им. Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск УрО РАН, Архангельск,
vakhr-elena@yandex.ru*

CHARACTERISTICS OF BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES SEPARATED FROM THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

Е.А. Vakhrameeva, N.M. Kokryatskaya
FECIAR UrB RAS, Arkhangelsk

Аннотация. В статье представлены результаты определения гранулометрического состава и содержания органического вещества донных отложений озер, отделившихся от Кандалакш-

ского залива Белого моря (оз. Верхнее и Нижнее Ершовское). Показано, что содержание органического вещества в донных отложениях тесно связано с их гранулометрическим составом. Выявлена тесная корреляционная связь между этими характеристиками.

Ключевые слова: гранулометрический состав, донные отложения (ДО), органическое вещество (ОВ).

Введение

Донные отложения являются носителем информации об изменениях климата и воздействии окружающей среды на водоем за весь период его существования. Карельский берег Белого моря после таяния последнего ледника поднимается со скоростью 1-4 мм в год [2]. В результате некоторые морские заливы утрачивают связь с морем и превращаются в озера.

Гранулометрический состав донных отложений озер представлен, в основном, илами, отложенными на этапе седиментации и претерпевшими лишь самые ранние диагенетические изменения [1].

Регион исследований, объекты и методы

С целью исследования современного состояния донных отложений озер побережья Кандалакшского залива Белого моря выбраны два озера, расположенные вблизи ББС МГУ им. М.В. Ломоносова [2]. Эти озера, соединенные протокой, образовались на месте древнего пролива (рис. 1). Оба озера в настоящее время пресные, однако, в оз. Нижнее Ершовское возможен заброс морской воды, которая может сохраняться некоторое время в придонных ямах. Пробы донных отложений отобраны в зимнюю межень в наиболее глубоких частях акватории озер (2,5-2,8 м) в 2013 г. только в Нижнем Ершовском озере, а в 2021 г. в обоих водоемах. Координаты станций отбора проб: в Нижнем Ершовском $66^{\circ}32'17,0''$ с.ш, $33^{\circ}03'38,3''$ в.д. и $66^{\circ}32'28,2''$ с.ш., $33^{\circ}03'04,1''$ в.д. в озере Верхнее Ершовское.

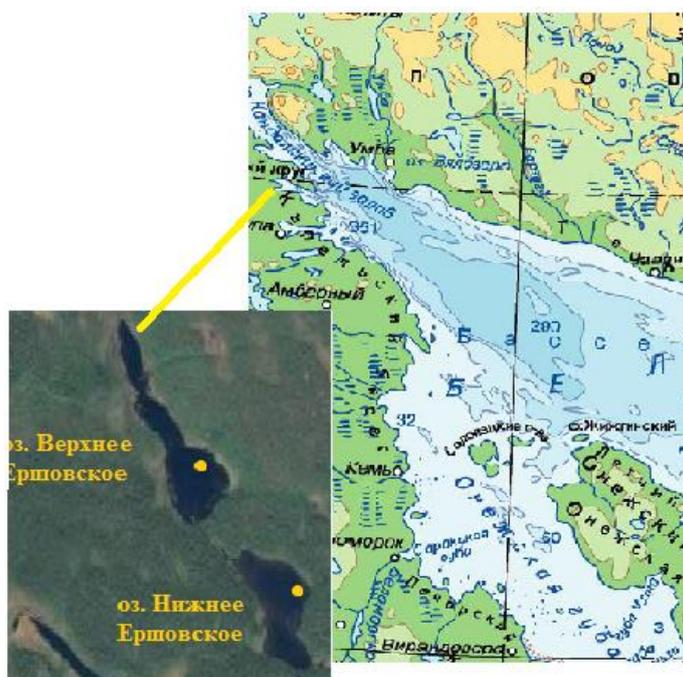


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб ДО в исследуемых озерах.

Пробы донных осадков отбирали с помощью ударной прямооточной грунтовой трубки (Aquatic Research Instrument). Отобранные пробы помещали в полиэтиленовые пакеты.

Гранулометрический состав донных отложений озер определяли в соответствии с методикой [3]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29%.

Содержание ОВ оценивалось по содержанию потерь при прокаливании (ППП). Метод измерения основан на взвешивании остатка, получаемого при прокаливании пробы при температуре $550\pm 20^\circ\text{C}$ [4]. В этой же пробе определяли влажность при температуре $105\pm 2^\circ\text{C}$. Расчет ППП проводили на абсолютно-сухую навеску образца.

Результаты и обсуждение

На основании данных, представленных на диаграмме рассеяния гранулометрического состава (рис. 2), можно заключить, что в целом донные осадки обоих озер представлены пелито-алевритовыми илами. Особенностью всех исследованных кернов ДО является наличие слоев с высоким содержанием пелита от 78,34% до 88,19%, но в озере Верхнем Ершовском они расположены на глубине 15-18 см, а в Нижнем Ершовском 30-33 см.

Отмечено укрупнение гранулометрических фракций в нижнем горизонте отложений оз. Верхнее Ершовское, где алевро-пелитовой ил переходит в пелито-алевритовый песок (48,24% песка) и пелито-песчаный алеврит (26,58% песка).

Осадки исследованных озер сильно обводнены по всей толще. Значения естественной влажности донных отложений оз. Нижнее Ершовское, отобранных в 2013 г., составляют в среднем 82,0%, изменяясь в интервале от 74,7 до 87,1%. По мере погружения в толщу отложений количество влаги уменьшается незначительно, составляя на нижнем горизонте 74,7%. В ДО, отобранных в этом водоеме 2021 г., при несколько более высоких значениях влажности (в среднем 91,7%) сохраняются те же тенденции в распределении. Влажность ДО оз. Верхнее Ершовское составляет 87,7%.

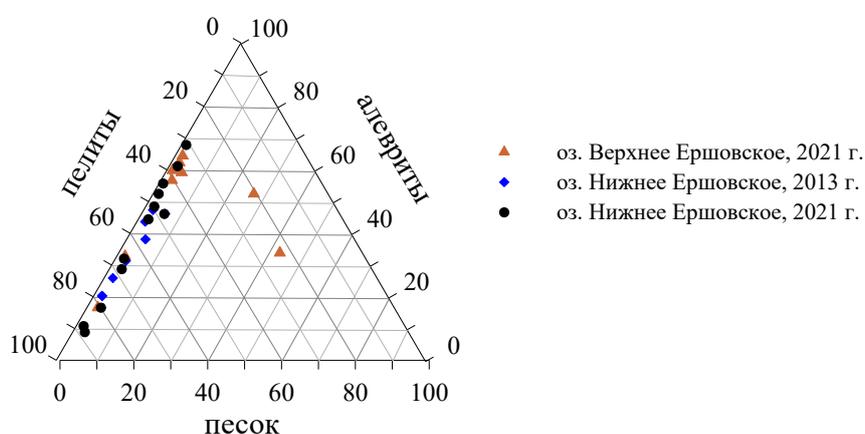


Рис. 2. Диаграмма рассеяния гранулометрического состава колонок донных отложений озер.

В обоих озерах все исследованные ДО были обогащены органическим веществом, за которое мы принимали величину потерь при прокаливании. Наиболее высокие значения в содержании ППП характерны для верхнего слоя ДО Верхнего Ершовского озера – 45,2% (при среднем значении 27,5%), по мере погружения в осадок, несмотря на небольшую длину керна, в нижних горизонтах содержание ППП уменьшается до 11,1% (рис. 3). Наибольший вклад ППП (85,8%) в выделенной пелитовой фракции в озере Верхнем Ершовском отмечен для слоя 15-18 см. Как было отмечено выше, и в целом этот слой ДО обогащен пелитом – высокое содержание ОВ тесно связано с мелкодисперсной фракцией. Подтверждается это наличием корреляционной зависимости между содержанием ППП и количеством пелитовой фракции в осадках: $r_{0,95} = 0,6$ ($n = 9$).

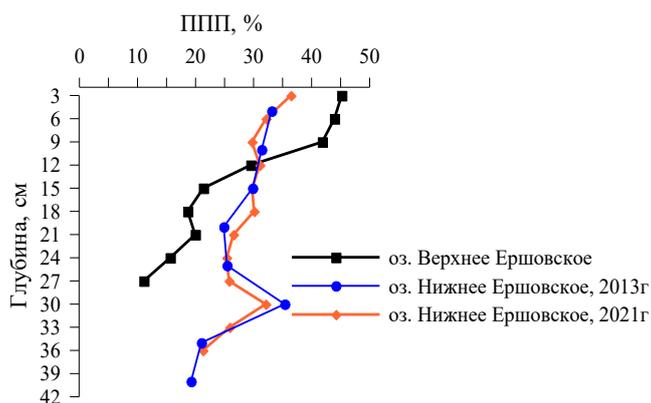


Рис. 3. Распределение органического вещества (ППП) в кернах ДО исследуемых озер.

Как видно из данных рисунка 3, для озера Нижнее Ершовское значения ППП в ДО двух отборов очень близки. Составляя в поверхностных слоях в среднем 34,8%, значения показателя равномерно уменьшаются к низу керна. В оба года исследования в слое 27-30 см наблюдается увеличение ППП до 35,4%, что, скорее всего, может служить маркером изменения условий осадконакопления в водоеме. Определение содержания ППП в выделенных гранулометрических фракциях показывает, что в этих слоях более 80% вклада органической составляющей приходится на пелитовую фракцию.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 12011300473-4). Авторы признательны администрации Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова за возможность проведения исследований на ее базе.

Выводы

Рассмотренные в настоящем исследовании водоемы находятся на разных стадиях развития изоляции от моря – хотя оба они являются пресными, но в наиболее близко расположенное к морю озеро Нижнее Ершовское спорадически происходит заброс морской воды во время нагонов. Начало интенсивного накопления органического вещества совпадает с полной изоляцией озера от моря.

Погребенное ОВ является индикатором происходящих изменений климата и гидрологических условий в озерах. Все накопленные органические вещества в илистых донных осадках преобразуются в процессе диагенеза и формируют минеральную часть осадка. Наличие пелитовых слоев в ДО обоих водоемов маркирует процесс образования и осаждения ОВ в особых климатических условиях изоляции озер.

Литература

- [1] *Вахрамеева Е.А.* Состав и органическое вещество донных отложений водоемов, отделяющихся от Белого моря // XXIX береговая конференция: натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования: сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участием / гл. ред. Б.В. Чубаренко [Электронный ресурс]: научное электронное издание. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2022. С. 401-405.
- [2] *Краснова Е.Д.* Экология меромиктических озер России. 1 Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021, т. 48, № 3 С. 322-333.
- [3] МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
- [4] *Heiri O., Lotter A., Lemeke G.* Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results, *Journal of Paleolimnology*, 2001, v. 25. P.101-110.

S u m m a r y. The paper presents the results of determining the particle size distribution and content of organic matter in bottom sediments of lakes separated from the Kandalaksha Bay of the White Sea (Verkhnee Lake and Nizhnee Ershovskoe Lake). It is shown that the content of organic matter in lake sediments is closely related to their particle size distribution. A strong correlation between these characteristics was revealed.

НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА ОЗЕРНЫХ ВОДОЕМОВ БЕЛАРУСИ

В.Н. Губин, Т.В. Архипенко

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, vngubin@mail.ru,
arkhipmink@rambler.ru*

LATEST GEODYNAMICS OF LAKE WATER BODIES IN BELARUS

V.N. Gubin, T.V. Arkhipenko

Belorussian State University, Minsk, Belarus

Аннотация. Рассмотрены факторы формирования озерных котловин, их классификация. Определена роль плейстоценовых ледниковых покровов в формировании ложбинных котловин. На основе негеодинамической интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизической информации установлены гляциодинамические структуры и неотектонически активные разрывные нарушения, определившие закономерности возникновения, пространственного размещения и развития современных озер.

Ключевые слова: Поозерское оледенение, гляциодинамика, активный разлом, озерная котловина, озеро, космический снимок.

Введение

Ведущим фактором в развитии озерных водоемов являются геодинамические процессы новейшего этапа эволюции земной коры. В период покровных оледенений под воздействием гляциодинамики и новейшей активизации разломов платформенного чехла и кристаллического фундамента формировались котловины озер. На основе неогеодинимической интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизической информации установлены гляциодинамические структуры и неотектонически активные разрывные нарушения, определившие закономерности возникновения, пространственного размещения и развития современных озер.

Регион исследования, объекты и методы

На территории Беларуси, располагающейся в области древнематерикового оледенения, формирование озер обусловлено гляциодинамикой и неотектонической активностью разломов платформенного чехла и кристаллического фундамента. Значительный вклад в разработку теоретических основ выделения озерных геосистем в Белорусском регионе с позиций динамики древнеледниковых покровов сделан выдающимся белорусским лимнологом и географом профессором О.Ф. Якушко. Ею установлены подпрудные, ложбинные, эвормионные, термокарстовые и сложные типы озерных котловин, образованные под воздействием движущегося ледника, его талых вод и процессов термокарста, сопровождавшихся формированием отрицательных форм рельефа [1, 2].

В настоящее время при выявлении неогеодинимических закономерностей развития озерных водоемов используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутников Канопус-В, Ресурс-П, Sentinel-2В, Landsat-8 и SPOT-6,7 с пространственным разрешением от 30 до нескольких метров. Инновации в изучении эволюции озер методами ДЗЗ тесно связаны с Белорусским космическим аппаратом, оптико-электронная съемочная система которого позволяет в панхроматическом режиме получать космические снимки (КС) с разрешением объектов на земной поверхности 2,1 м, а в мультиспектральном – с пространственным разрешением 10,5 м. На основе комплексной интерпретации результатов геодинамического дешифрирования КС и геолого-геофизической информации достигается возможность выяснения роли гляциодинамики и новейшей активизации разломов земной коры в формировании и размещении озер.

Высокой информативностью отличаются данные ДЗЗ из космоса при реконструкции динамической структуры Поозерского ледникового покрова, проникавшего на территорию севера Беларуси 12-13 тыс. лет назад.

Результаты и обсуждение

В рассматриваемом регионе Белорусского Поозерья отчетливо отражаются на КС гляциодислокации складчато-чешуйчатого типа, образованные в условиях движения ледяных масс и сдвиговых деформаций в основании ледника. Такие структуры слагают большинство моренных возвышенностей и морфологически лучше всего выражены в краевой ледниковой зоне.

На земной поверхности гляциодинамические структуры, или скибовые сооружения [3, 4], обнаруживаются в виде дуговидных конечноморенных гряд, что позволяет надежно фиксировать их по параллельно-полосчатому рисунку космизображения. Скибовые гряды вытянуты по простиранию на расстояние от нескольких сотен метров до 1-3 км. Их ширина около 100-350 м, высота до 10-15 м. Склоны гряд более пологие (до 10-20°) во внутренней (проксимальной) части и на 3-5° круче с дистальной стороны. Благодаря многоступенчатой генерализации данных ДЗЗ достигается возможность дистанционного изучения гляциодинамических структур различных уровней пространственной организации: элементарных, локальных и региональных ледниковых форм. Скибовые сооружения как бы нанизаны на осевые ледниковые ложбины, имеющие длину от первых сотен метров до 30-50 км и ширину от нескольких десятков метров до 5-8 км.

Ориентировка ложбин соответствует направлению движения ледяных масс. С дистальной стороны скибовые сооружения примыкают к поперечным ледниковым ложбинам. Расположенные здесь озера имеют вытянутую форму в плане (рис. 1). Котловины таких водоемов парагенетически связаны с соседними положительными формами рельефа.

Следует отметить, что озерные водоемы, приуроченные к ложбинам ледникового выдавливания, характеризуются значительными глубинами. Так, максимальная глубина озера Долгое составляет 53,6 м, озера Плисса – 32,9 м, озера Сенно – 31,5 м.

При изучении новейшей геодинамики лимногляциальных бассейнов Белорусского Поозерья выявлены изометричные в плане формы рельефа криогенной природы – реликтовые пинго. Высота таких форм колеблется от первых единиц метров до 70 м, а их диаметр в большинстве случаев от 0,3 до 800 м.



Рис. 1. Отражение ложбинной котловины озера Свирь на космическом снимке

Образование реликтовых пинго происходило во время последнего позднеледниковья под воздействием криостатического давления в условиях промерзания неглубоких (средняя глубина – 5-8 м) озерных водоемов [5]. Согласно классификации О.Ф. Якушко котловины озер подобного генезиса могут быть отнесены к типу термокарстовых [1]. По данным геодинамического дешифрирования КС установлено, что реликтовые пинго группируются в протяженные системы и образуют непрерывную полосу по периферии Поозерского ледникового покрова. В крупных кольцевых формах размерами в поперечнике от 0,3 до 3 км нередко располагаются озера.

В качестве эталона реликтовых пинго следует выделить наиболее крупный из них – Боровненский кольцевой объект, расположенный на западе Лучесинского лимногляциального бассейна. Морфологически пинго представляет собой узкий (0,1-0,6 км) кольцевой вал (гряды), окаймляющий озеро Боровно, с размерами по длинной оси 2,6 км, короткой – 1,8 км (рис. 2). Гряда сложена лимногляциальными песками с тонкими ритмически повторяющимися прослоями супесей и суглинков. Следует предположить, что формирование котловины современного озера Боровно тесно связано с древними мерзлотными процессами.

Системы активных на неотектоническом этапе разломов земной коры контролировали экзарационно-аккумулятивную деятельность плейстоценовых ледников и тем самым способствовали формированию озерных котловин и литогенной основы прибрежных зон [3, 4, 6]. Новейшая активизация разрывных нарушений проявляется на земной поверхности и КС в виде систем линеаментов. В ходе линеаментного анализа совместно с геолого-геофизической информацией устанавливается соотношение озерных котловин с проявлениями разломной тектоники. Активные разрывные нарушения платформенного чехла и кристаллического фундамента оказала влияние на развитие лопастных и языковых комплексов Поозерского ледника.

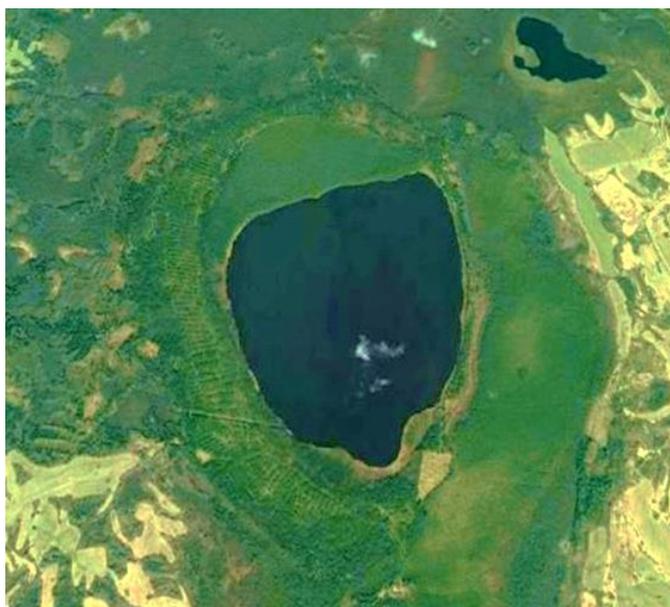


Рис. 2. Космический снимок котловины озера Боровно термокарстового происхождения.

Так, зона субмеридионального Чашникского регионального разлома, отличающаяся повышенной трещиноватостью породных массивов в верхней части осадочной толщи, служила магистральным направлением для Полоцкой ледниковой лопасти.

Здесь заметно активизировалась экзарационная деятельность ледника и формировались ложбины ледникового выпахивания и размыва шириной от нескольких сотен метров до 1-3 км.

Важную роль в развитии Селявского ледникового языка и формировании ложбинной котловины озера Селява играла новейшая активизация Западно- и Восточно-Селявского, Хольневичского и Худовецкого разломов. Разрывные нарушения характеризуются амплитудой по поверхности кристаллического фундамента 10-30 м и в платформенном чехле прослеживаются в виде зон трещиноватости и разуплотнения горных пород, нередко достигающих нескольких сотен метров. Отмечается плановое соотношение разломов с ложбинообразными врезами гляцигенного происхождения в дочетвертичной поверхности. Разрывные нарушения проявляются в распределении мощностей моренных горизонтов днепровского, Сожского и Поозерского оледенений, а также отражаются в виде линеаментов на КС. В пределах береговой линии озера Селява в разломных зонах отмечается активизация процессов абразии, суффозии и оползневых явлений. Вдоль широтного Худовецкого разлома озерная котловина имеет резкий горизонтальный изгиб длиной около 1,5 км. По геофизическим данным этому участку соответствует активная геодинамическая зона шириной от 100 до 300 м, отражающая фрагмент правостороннего сдвига по линии разлома в условиях растяжения земной коры. В результате неогеодинимических исследований озерных водоемов Беларуси на основе комплексного анализа данных ДЗЗ из космоса и геолого-геофизической информации подтвержден сделанный О.Ф. Якушко вывод о роли плейстоценовых ледниковых покровов в формировании ложбинных котловин озер Свирь, Сенно, Сарро и др. Новейшая геодинамика является ведущим фактором в развитии озерных водоемов. Геодинамические основы лимногенеза сегодня актуальны и продолжают развиваться на основе инновационных технологий космического зондирования Земли.

Литература

- [1] Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Беларуси. Мн.: Вышэйш. школа, 1971. 336 с.
- [2] Якушко О.Ф. Принципы выделения и классификация аквальных ландшафтов // Вестн. Белорус. ун-та, сер. 2. 1986, №1. С. 53-58.
- [3] Левков Э.А. Гляциотектоника. Мн: Наука и техника, 1980. 280.
- [4] Губин В.Н. Отражение гляциоструктуры плейстоцена в рельефе Беларуси // Изв. Рус. географ. об-ва. 2000, т.132, вып.2. С.40-48.
- [5] Левков Э.А., Карabanов А.К. Реликтовое пинго на территории Белоруссии // Докл. АН БССР. 1990, т., № 5. С. 463-465.
- [6] Карabanов А.К., Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е. Неотектоника и неогеодинимика запада Восточно-Европейской платформы. Мн.: Беларус. навука, 2009. 183 с.

S u m m a r y. The leading factor in the development of lake reservoirs is the geodynamic processes of the latest stage of the evolution of the earth's crust. During the cover glaciation, lake basins were formed under the influence of glaciodynamics and the recent activation of faults in the platform cover and the crystalline basement. Based on the neogeodynamic interpretation of the Earth's remote sensing data from space and geological and geophysical information, glaciodynamic structures and neotectonically active discontinuities have been established, which have determined the patterns of occurrence, spatial location and development of modern lakes.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МИКРОБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДОЕМАХ ГУБЫ КАНДА, ОТДЕЛЕННЫХ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

Н.А. Демиденко¹, А.С. Саввичев²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, demidenko_nikola@mail.ru;*

²*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, г. Москва, savvichev@mail.ru*

HYDROLOGICAL CONDITIONS AND MICROBIAL PROCESSES IN THE RESERVOIRS OF KANDA BAY, SEPARATED FROM THE WHITE SEA

N.A. Demidenko¹, A.S. Savvichev²

¹*Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia*

²*Vinogradsky Microbiological Institute, Research Center of Biotechnology of RAS, Moscow, Russia*

Аннотация. Шхерный район вершины Кандалакшского залива – губа Канда был отделен фильтрующей дамбой от Белого моря в 1916 г. С тех пор происходит процесс изменения гидролого-гидрохимических и биологических условий в губе Канда. Несколько последних лет в 2015-2023 гг. проводятся исследования меромиктических водоемов в зимнее время и особое внимание уделено гидрологическим и микробиологическим процессам. Целью настоящего исследования было получение объективных количественных характеристик интенсивности микробных процессов, циклов углерода и серы в водной толще губы Канда.

Ключевые слова: губа Канда, меромиктические водоемы, водообмен, фильтрующая дамба, гидрологический режим, микробные процессы, стратификация, сероводородное заражение.

Введение

Среди озёр морского происхождения, возникших в результате отделения от моря лагун и заливов, выделяются водоёмы, получившие название меромиктических. Меромиктические водоёмы характеризуются наличием анаэробной зоны в монимолимнионе. Анаэробные условия создаются, как правило, за счет протекания микробных процессов деструкции органического вещества, вызывающих истощение растворенного кислорода.

Объекты и методы

С началом Первой мировой войны резко активизировались работы по созданию железной дороги на Мурман. В ноябре 1914 г. были начаты изыскательские работы по всей трассе будущей дороги. Участок от Сорокской губы до г. Кандалакша строился с сентября 1915 по ноябрь 1916 гг. В конце 1916 г. была нарушена свободная связь губы Канда с Белым морем. При строительстве автодороги М18 «Кола» (С-Петербург – Мурманск) в 1968 г. через центральную часть губы Канда была построена еще одна фильтрующая дамба и мост (рис. 1). Водообмен между кутовой частью и остальной губой был резко ограничен [1,

5]. В зимние периоды 2015-2021 гг. были проведены инструментальные измерения гидролого-гидрохимических параметров и количественные характеристики интенсивности микробных процессов в водной толще губы Канда [3].

Результаты и обсуждение

Гидрологический режим губы Канда – это сложный и сжатый во времени техногенный вариант процесса отчленения от моря системы крупных озер. Большинство больших и малых озер, расположенных вблизи побережья Кандалакшского залива, по происхождению являются участками морских акваторий. Губа Канда – единственный крупный водоем, где этот процесс можно наблюдать в промежуточной стадии, когда устойчиво существуют пресноводные и морские водные массы. По характеру протекания микробных процессов губа Канда подобна оз. Могильному на о. Кильдин [2]. В конечном итоге на месте губы Канда будут меромиктические и пресноводные озера.

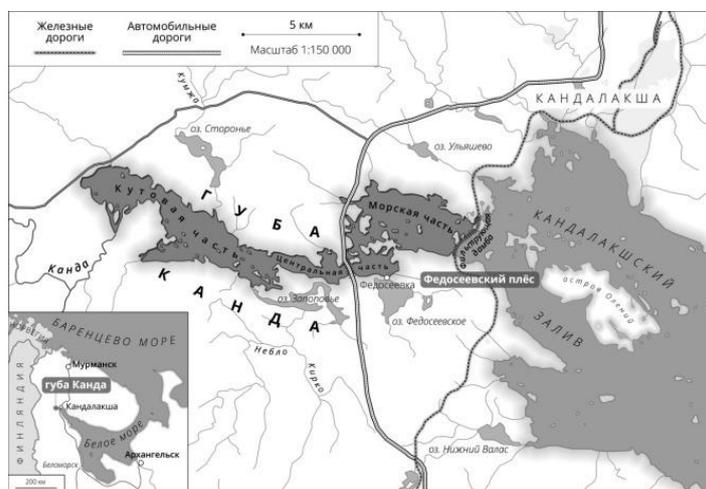


Рис. 1. Карта-схема губы Канда и прилегающей акватории Кандалакшского залива. Обозначены насыпь автомобильной и дамбы железной дороги [3].

Исследования приливных колебаний уровня воды в акватории Кандалакшского залива и морской части губы Канда проводились с помощью автономных гидростатических датчиков уровня – логгеров с 1 по 9 марта 2016 г. и в 2021 гг. Логгеры показывали глубину, уровень и температуру воды в морской, центральной частях губы Канда (рис. 2 а, б).

Соленость воды губы Канда изменялась в широком диапазоне: от 0,2 до 22,2‰. В поверхностном опресненном горизонте сумма ионов составляла 3-6‰ в морском плесе. В придонном горизонте соленость вод находилась в интервале от 13,8 до 21,9‰. Для вертикального распределения солености было характерно наличие двух основных водных масс: пресноводно-солонатоводного миксолимниона и высокосоленого монимолимниона, разделенных между собою хемоклином. Толщина слоя опресненных вод изменялась в разных районах губы от 1 до 10 м. Эти воды обильно насыщены кислородом (80-100%), хорошо прогреваются в летний период, содержат много углекислоты и органических веществ. Ниже расположен слой мощностью 2-4 м с резким возрастанием солено-

сти (гало- или хемоклин), обычно совпадающий с термоклинном. Хемоклин характеризуется высоким (иногда до 10‰ на 1 м) градиентом солености.

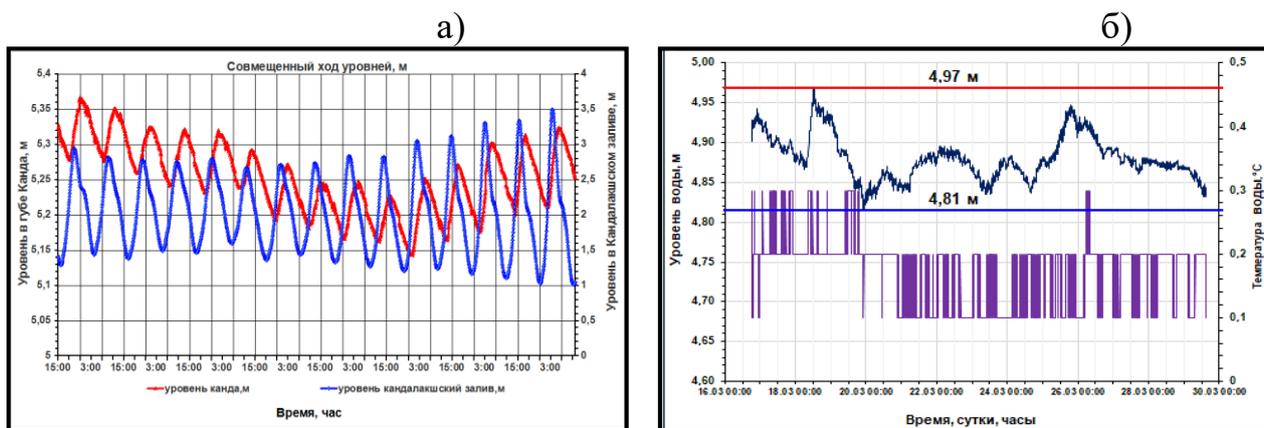


Рис. 2 а, б. Совмещенный график хода уровней на ст. 1 в Кандалакшском заливе и ст. 2 в губе Канда с 01 по 09.03.2016 г. (а). Ход уровня и температуры воды в плесе Узкое центральной части губы Канда с 16 по 30.03.2021 г.

Глубже 8-10 м залегают высокосолёные воды, являющиеся почти застойными. Последние практически лишены кислорода (вплоть до его полного отсутствия), насыщены углекислотой (от 57 до 350 мг/л) и в нижних слоях – растворённым сероводородом. Температура в придонном горизонте оставалась низкой (3,2-4,5°C) в течение года, а в самых глубоких участках опускалась до 2,7°C. Соленость в морской части губы на глубине 4-6 м составляла 18‰, постепенно увеличиваясь ко дну до 23‰.

Гидрологические съёмки, проведенные в морской части губы Канда в зимние периоды, показали температуру поверхностных вод равной -0,2°C [1]. С глубиной температура воды увеличивалась, и в придонном горизонте достигала 2,8°C у западной, более мелководной, части по сравнению с 2,5°C в центральной части с глубинами 13-17 м.

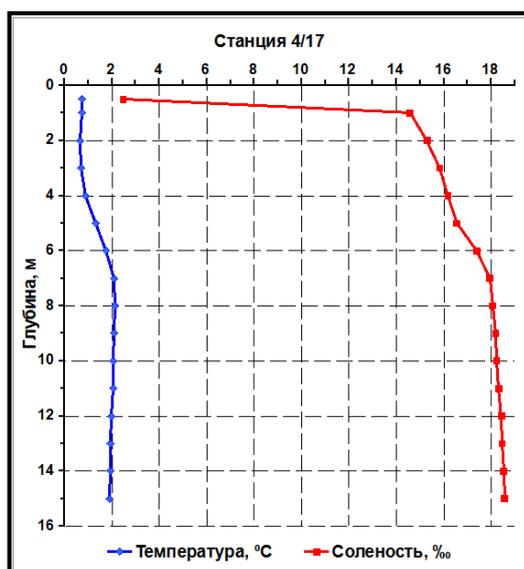


Рис. 3. График температуры и солености по вертикали в морской части губы Канда (Станция 4/17) 15.03.2017 г.

В центральной части губы Канда в Федосеевском плесе верхний слой пресный до глубины 3, затем острый галоклин, толщиной менее 1 м и далее соленая морская, оставшаяся в этих котловинах с момента отделения губы дамбой. Соленость воды в донном горизонте возрастает до максимальных значений 17‰ и температура воды 4,98°C. Концентрация сероводорода в придонном горизонте достигает 65,7 мг/л.

Специфические особенности, обусловленные трансформацией водных масс губы Канда после ослабления и прекращения связи с морем, связаны с увеличением анионов – сульфатов, гидрокарбонатов и фторидов, тогда как для катионов существенных аномалий не выявлено [4]. Наиболее сильной трансформации подверглись придонные слои центрального плеса (12 м и глубже): в них протекает интенсивная сульфатредукция, о чем свидетельствует снижение концентрации сульфатов (табл. 1), усиливающиеся запахом H₂S, а также наблюдается резкое увеличение щелочности (концентрации гидрокарбонатов) и содержания фторидов, происходящее за счет диффузии из поровых растворов донных отложений.

Таблица 1. Распределение температуры, солености и сероводорода в монимолимнионе Федосеевского плеса губы Канда, ст. 6, глубина 14,5 м, март 2016 г.

Горизонт, м	T, °C	S, ‰	H ₂ S, мг/л	Примечание
11,0	4,65	15,33	14,42	Слабый запах H ₂ S
12,0	5,08	15,85	34,35	Средний запах H ₂ S
13,0	5,04	16,18	63,04	Средний запах H ₂ S
13,8	4,91	16,52	65,71	Сильный запах H ₂ S

Материалы для микробных исследований получены в центральной части Федосеевского плеса, где наблюдались все признаки меромиксии. Окислительно-восстановительный потенциал резко изменяется в пределах этого горизонта. Содержание кислорода в подлёдном слое соответствовало 0,3 ммоль л⁻¹, глубже концентрация O₂ плавно снижалась до минимальных значений на глубине 10 м (0,03 ммоль л⁻¹). На глубине 11 м концентрация сероводорода составляла 0,42 ммоль л⁻¹, а в придонном слое достигала 1,93 ммоль л⁻¹.

Общая численность микроорганизмов (ОЧМ) в миксолимнионе Федосеевского плеса (450×10^3 - 650×10^3 кл. мл⁻¹) соответствовала значениям обычным для зимнего сезона в олиго-мезотрофных водоемах. В слое хемоклина величина ОЧМ достигала локального максимума (1650×10^3 кл. мл⁻¹), что свойственно меромиктическим водоёмам [3]. Результаты экспериментов с добавкой Na₂³⁵SO₄ показали, что во всех пробах сероводородной воды происходит процесс микробной сульфатредукции, суточная скорость которого (до 3,0 мкмоль S л⁻¹ сут⁻¹) почти на 3 порядка величин ниже, чем содержание сероводорода. Из этого следует, что обнаруженные концентрации сероводорода могли образоваться не за один год, т.е. не только в текущий зимний сезон. Поскольку исследование пигментов в нативной воде показало отсутствие окрашенных (зеленых и пурпурных) аноксигенных фототрофных бактерий, уместно предположить, что увели-

чение ОЧМ связано с развитием тионовых бактерий, окисляющих соединения серы в отсутствие света [3].

Концентрация растворенного метана в миксолимнионе варьировала от 19 до 29 нмоль л⁻¹, что немного превышало его содержание в атмосфере. В слое хемоклина и придонном водном слое концентрация растворённого метана достигала 2,8-3,7 ммоль л⁻¹, характер распределения содержания указывает на поступление метана из донных отложений.

Выводы

Губа Канда может служить хорошей моделью для исследования процессов водообмена в условиях резко выраженной плотностной стратификации вод, возникающей при отделении от моря и опреснении вод морского залива. В губе Канда имеются благоприятные условия для изучения формирования структуры сероводородных зон в меромиктических водоемах. Несомненно, изучение механизма образования сероводорода и его влияния на экосистемы таких водоемов представляет большой интерес для рыбного хозяйства.

Благодарности

Исследование выполнено в ИО РАН в рамках Госзадания № FMWE–2021–0006 и проекта РНФ № 23-24-00208.

Литература

- [1] Демиденко Н.А., Саввичев А.С., Савенко А.В., Покровский О.С. Гидролого-гидрохимические условия меромиктических водоемов губы Канда, отделенных от Белого моря дамбой. Геология морей и океанов: Мат-лы XXI Междунар. научн. конф. (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС, 2015. С. 170-174.
- [2] Реликтовое озеро Могильное. Л.: Наука, 1975. 298 с.
- [3] Саввичев А.С., Демиденко Н.А., Краснова Е.Д., Калмацкая О.В., Харчева А.И., М.В. Иванов. Микробные процессы в губе Канда – меромиктическом водоеме, искусственно отделенном от Белого моря // Доклады Академии наук. 2017, т. 474, № 5. С. 637-641.
- [4] Савенко А.В., Демиденко Н.А., Саввичев А.С., Покровский О.С. Распределение главных ионов и растворенных микроэлементов в меромиктических водоемах Кандалакшского залива Белого моря. Геология морей и океанов: Мат-лы XXI Междунар. Науч. Конф. (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС, 2015. С. 271-275.
- [5] Юрченко С.В., Корякин А.С. Техногенные воздействия на губу Канда, Белое море // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Мат-лы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (2-5 октября 2012 г.). Апатиты, 2012, ч. 2. С. 171-173.

S u m m a r y. The skerry area of the Kandalaksha Gulf – Kanda Bay was separated by a filtered dam from the White Sea in 1916. Over the past few years, in 2015-2023, studies of meromictic reservoirs in winter period have been conducted and special attention has been paid to hydrological and microbiological processes. The aim of the present study was to obtain objective quantitative characteristics of the intensity of microbial processes of carbon and sulfur cycles in the water column of the Kanda bay.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОЕМОВ ЗАЛИВА ПОРЬЯ ГУБА БЕЛОГО МОРЯ

Н.М. Кокрятская¹, Г.Н. Лосюк¹, Е.Д. Краснова², С.С. Попов¹,
К.В. Титова¹, Д.А. Воронов³

¹ФИЦКИА им. Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, *nkokr@yandex.ru*

²МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, *e_d_krasnova@mail.ru*

³ИППИ РАН г. Москва, *da_voronov@mail.ru*

HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF WATER BODIES OF PORIA GUBA BAY IN THE WHITE SEA

N.M. Kokryatskaya¹, G.N. Losyuk¹, E.D. Krasnova², S.S. Popov¹,
K.V. Titova¹, D.A. Voronov³

¹*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS, Arkhangelsk*

²*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

³*Institute for Information Transmission Problems, RAS, Moscow*

Аннотация. Приведены результаты гидрохимических исследований водоемов с разной степенью развития анаэробных условий (вплоть до появления меромиксии с сероводородным заражением), расположенных в Порьей губе (Кандалакшский залив Белого моря), находящихся на разных стадиях отделения от моря. Установлено, что все они имеют уникальную гидрологическую и гидрохимическую структуру, формирующуюся на определенном этапе их эволюции. Наиболее сильно вертикальная стратификация вод с развитием всех сопутствующих стагнаций явлений, выражена в наиболее удаленных от моря водоемах, где не только отмечен более высокий уровень содержания сероводорода в придонных анаэробных водах (до 16,5 мг/л), но также и фосфатов, кремния, нитритного и аммонийного азота.

Ключевые слова: Белое море, отделяющиеся водоемы, стратификация, сероводород, биогенные элементы, ионный состав.

Введение

Морские акватории, изолирующиеся от моря в результате, как естественных причин, так и хозяйственной деятельности человека, могут служить отличной моделью при изучении влияния аноксии при развитии вертикальной стратификации на внутриводоёмные процессы. На побережье Белого моря в ходе постледникового поднятия берега образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от моря. В последние два десятилетия комплексные исследования таких водоёмов развернуты на базе Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова [2, 5, 8]. В 2019-2022 гг. данные исследования организованы и на противоположном берегу Кандалакшского залива Белого моря в заливе Порья губа [2, 4].

Объекты и методы

Полевые исследования выполнены в августе 2021 и 2022 годов. Объектами настоящего исследования являлись расположенные в Порьей губе реликтовая лагуна с местным названием «Озерки» (N 66°46.00', E 33°46.00') и лагуна за Тихими островами (N 66°45.23', E 33°36.10'), а также озеро Йоканское (66°45,2' 33°25') (рис. 1). Пробы для гидрохимических анализов отбирали по всему водному столбу от поверхности до дна, горизонты опробования выбирались с учетом гидрологических особенностей изучаемых водоемов в наиболее глубокой

точке каждого водоема, а в лагуне Озерки – в каждом из трех плесов. Отбор осуществляли погружным насосом «Whale Premium Submersible Pump GP1352» (США) или горизонтальным поликарбонатным батометром (США) объемом 2 л. В полевых условиях были получены данные по содержанию сероводорода, фосфатов, кремния, аммонийного и нитритного азота [7]. Ионный состав (сульфаты, хлориды, натрий, калий, магний, кальций) определяли на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрическим детектором [6].

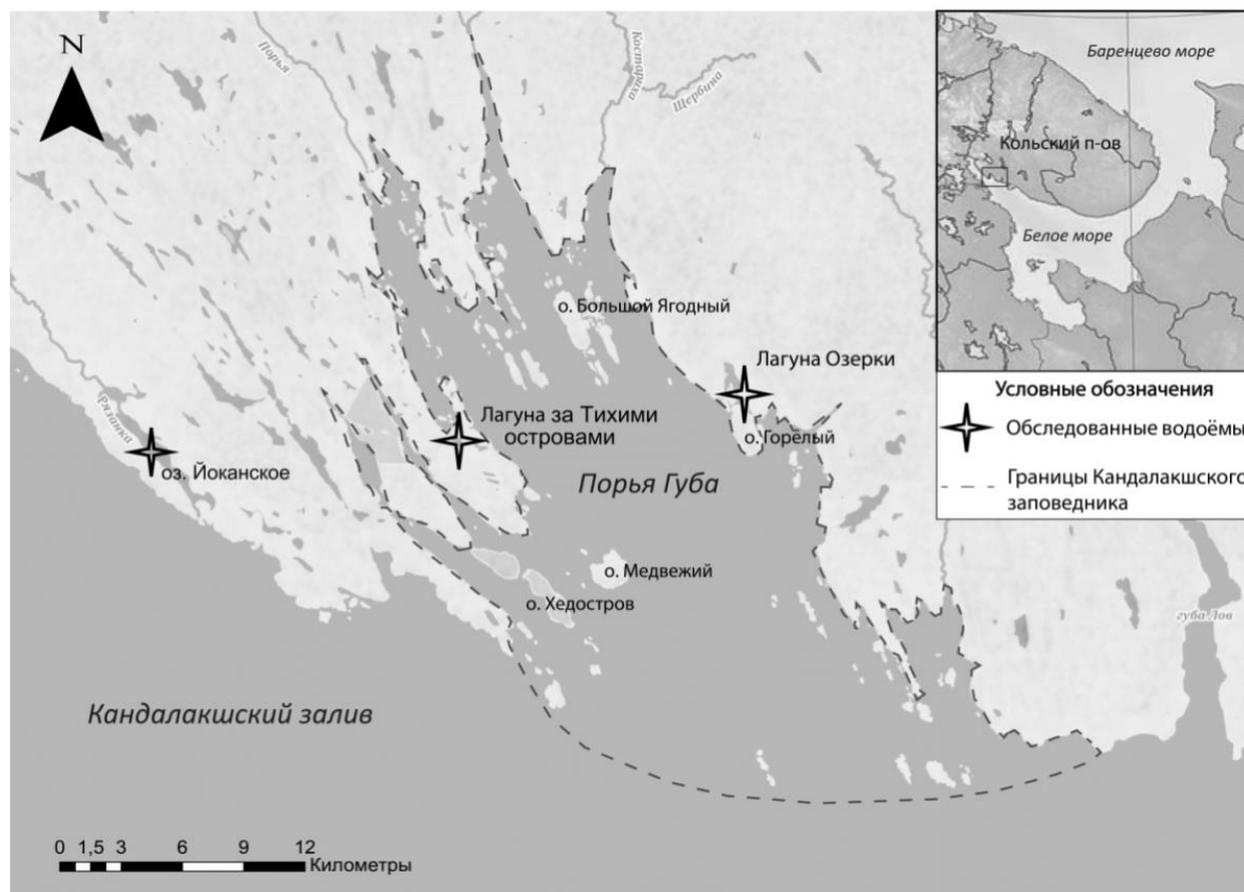


Рис. 1. Карта – схема расположения станций отбора проб.

Обсуждение результатов

Лагуна Озерки, расположенная в восточной части Порьей губы – это реликтовый водоем, состоящий из трех плёсов, разделенных отмелями и в разной степени изолированных от моря. Изучение её было начато в 1930-х годах научной группой Беломорской методической станции Государственного гидрологического института [1] и вновь продолжено только через 90 лет в 2019-2022 гг. [3, 4]. Было установлено, что из-за продолжающегося послеледникового подъема берега пороги, отделяющие Озерки от моря, обмелели, в результате чего усилилась изоляция лагуны от моря, что, скорее всего, должно было сказаться на формировании стратификации в её отдельных частях. Анализ данных вертикальных профилей основных гидрологических характеристик (температура, солёность содержание кислорода) позволяет заключить, что во всех трёх плёсах поверхностный слой, подверженный ветровому перемешиванию и опреснению,

имеет толщину не более 1 м; по направлению ко дну температура постепенно уменьшается, а соленость увеличивается. Концентрация кислорода в поверхностном слое воды соответствует 100% насыщения, ниже – сначала нарастает, достигает максимума ниже зоны пикноклина [4], а далее с глубиной убывает до полного исчерпания в придонном слое. При сопоставлении вертикальной структуры гидрологических параметров можно отметить их устойчивость, несмотря на наличие межгодовых колебаний параметров.

Низкая температура и соленость, на две единицы превышающая соленость на соседней морской акватории [4], позволяют предположить, что нижняя часть лагунных ковшей заполнена водой, поступившей туда в зимнее время. В плесе I (в куту лагуны) вода, по всей вероятности, не обновляется вовсе, или это происходит не каждый год. Подтверждает данное предположение и данные по содержанию основных ионов, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Содержание основных ионов в море и придонной воде плёсов лагуны Озерки в августе 2022 г. Нумерация плесов (I, II, III) от кута лагуны к морю

Место отбора	Н, м	Содержание, мг/л					
		хлорид	сульфат	натрий	калий	кальций	магний
Море	0,5	14172	1911	7973	180	594	1253
Плес III	6,5	13100	1815	7135	250	480	1135
Плес II	7	14697	2034	7752	291	503	1229
Плес I	8	14910	2052	8150	277	520	1252

Установлено присутствие сероводорода в придонной воде всех трех плесов. Но если для II и III плесов его количество редко выходило за границы интервала от 0,03 до 0,07 мг/л, то в анаэробных придонных водах I плеса оно стабильно было значительно выше (максимально 16,45 мг/л). О развитии застойных явлений также свидетельствует и увеличение содержания биогенных элементов в придонных горизонтах (рис. 2), сильнее всего проявляющееся в наиболее удаленном от моря I плесе.

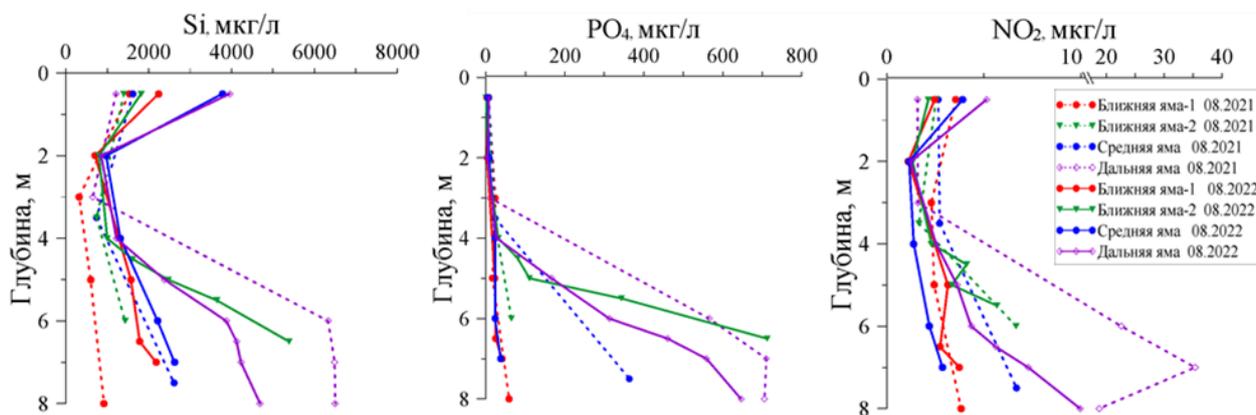


Рис. 2. Вертикальное распределение биогенных элементов в лагуне Озерки в 2021-2022 гг.

Таким образом, три плеса лагуны Озерки можно рассматривать как разные стадии изоляции водоемов от моря. II и III плесы находятся на ранней стадии, и стратификация в них, возможно, имеет сезонный характер. Наиболее сильно вертикальная стратификация вод с развитием всех сопутствующих стагнации явлений, выражена в наиболее изолированном от моря I плесе.

Озеро Йоканское – стратифицированный водоем с развитым сероводородным заражением и накоплением биогенных элементов в анаэробных водах (рис. 3). Сероводород появляется сразу после исчерпания кислорода на глубине около 4 метров, ниже 6 метров его содержание стабилизируется на уровне 4,2-6,3 мг/л (в оба года исследований). Параллельно увеличивается содержание и всех биогенных элементов. К этой глубине приурочен скачок плотности воды, где как на «ложном дне» скапливается свежее отмершее органическое вещество, которое и запускает бактериальный процесс генерации сероводорода. Относительная стабильность данных вертикального распределения основных гидрологических и гидрохимических параметров, полученных в течение двух лет наблюдений, позволяет предполагать меромиктический статус этого водоема.

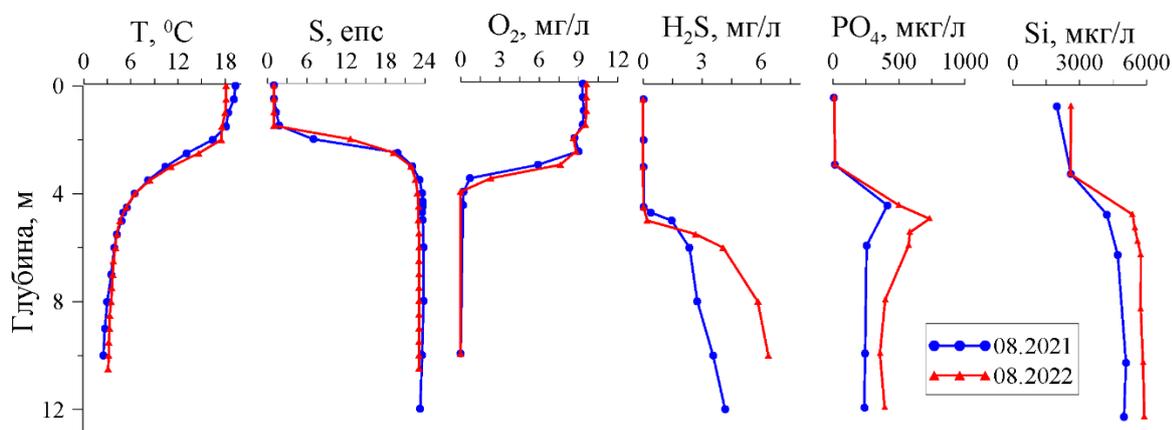


Рис. 3. Вертикальные профили гидрологических и гидрохимических параметров в озере Йоканское в 2021-2022 гг.

В 2022 г. водная толща лагуны за Тихими островами с максимальной глубиной 6 м была однородно перемешанной, до дна насыщенной кислородом. Сероводород отсутствовал по всему водному столбу, содержание биогенных элементов сопоставимо с данными для открытой морской акватории, а их вертикальное распределение было достаточно однородным от поверхности до дна, что является характерным для нормально аэрируемых морских вод.

Выводы

Установлено, что все исследованные водоемы имеют уникальную гидрологическую и гидрохимическую структуру, формирующуюся на определенном этапе их эволюции по мере усиления их изоляции от моря. Вертикальная стратификация вод с развитием всех сопутствующих стагнации явлений, сильнее всего выражена в наиболее удаленных от моря водоемах, где в придонных анаэробных водах отмечен как более высокий уровень содержания сероводоро-

да (до 16,5 мг/л), так и биогенных элементов (фосфатов, кремния, нитритного и аммонийного азота).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 122011300473-4). Авторы признательны администрации Кандалакшского заповедника за возможность работать на его акватории.

Литература

- [1] Гурвич Г.С., Соколова Е.В. К познанию реликтовых водоемов Белого моря // Тр. ГГИ, 1939, вып. 8, № 15. С. 142-161.
- [2] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов (Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 12). М.: Изд-во КМК, 2016. С. 211-241.
- [3] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Кожин М.Н. В поисках реликтовой лагуны, изученной 85 лет назад: исследование ковшовых губ Восточная Порья, Педуниха и Малая Пирья на Кандалакшском берегу Белого моря // Морские исследования и образование (MARESEDU-2019), 2020. С. 310-313.
- [4] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Фролова Н.Л. и др. Реликтовый водоем в Порьей губе (Белое море, Кандалакшский залив): что изменилось за последние 90 лет? // Известия РАН. Серия географическая, 2022, т. 86, № 6. С. 972-984.
- [5] Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М., Краснова Е.Д. Сероводородное заражение прибрежных озер на разных стадиях изоляции от Белого моря // Океанология, 2021, т. 61, № 3. С. 401-412.
- [6] ПНД ф 14.1:2:4.132-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионов: нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах природной питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии: введен 1998-04-02. Переиздан 2008-01-01. Москва, 2008. 21 с.
- [7] Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
- [8] Шапоренко С.И. Гидролого-гидрохимическая характеристика отшнуровывающихся водоемов района ББС (Кандалакшский залив Белого моря) // Тр. Беломорской биол. станции, 2003, т. 9. С. 184-190.

S u m m a r y. The results of hydrochemical studies of water bodies with varying degrees of development of anaerobic conditions (up to the appearance of meromixis with hydrogen sulfide contamination) located in the Porya Gyba Bay (Kandalaksha Bay of the White Sea), which are at different stages of separation from the sea, are presented. It has been established that all of them have a unique hydrological and hydrochemical structure, which is formed at a certain stage of their evolution. The most pronounced vertical stratification of waters with the development of all phenomena accompanying stagnation is expressed in the most remote from the sea water bodies, where not only a higher level of hydrogen sulfide content in the bottom anaerobic waters (up to 16.5 mg/l), but also phosphates, silicon, nitrite and ammonium nitrogen.

КОРРЕЛЯЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ В БЛИЖНЕМ УФ ДИАПАЗОНЕ И СОЛЕННОСТИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ПРИБРЕЖНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОЕМОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ИЗОЛЯЦИИ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

Е.Д. Краснова¹, Д.А. Воронов², А.А. Жильцова¹, Ю.Г. Соколовская¹,
С.В. Пацаева¹

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e_d_krasnova@mail.ru; spatsaeva@mail.ru

²Институт проблем передачи информации РАН, г. Москва, da_voronov@mail.ru

CORRELATION OF OPTICAL DENSITY IN THE NEAR UV RANGE AND SALINITY IN SURFACE WATERS OF COASTAL STRATIFIED WATER BODIES AT DIFFERENT STAGES OF ISOLATION FROM THE WHITE SEA

E.D. Krasnova¹, D.A. Voronov², A.A. Zhiltsova¹, Yu.G. Sokolovskaya¹,
S.V. Patsaeva¹

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

²Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow

Аннотация. Работа нацелена на проверку гипотезы о существовании прямой связи между количеством гуминовых веществ в миксолимнионе и соленостью воды в поверхностных водах прибрежных стратифицированных водоемов, которые находятся на разных стадиях изоляции от Белого моря. Обнаружена высокая отрицательная корреляция между соленостью воды и оптической плотностью для УФ света с длиной волны 380 нм. Выявлены межгодовые различия в оптической плотности воды.

Ключевые слова: прибрежные меромиктические водоемы, морские лагуны, цветность воды, гуминовые вещества, оптическая плотность, УФ диапазон соленость, Белое море.

Введение

В меромиктических водоемах на границе аэробной и анаэробной зон нередко возникает окрашенная прослойка воды с массовым развитием фототрофных микроорганизмов. Цвет прослойки воды зависит от доминирующего микроорганизма и пигментов, входящих в состав его фотосинтетического аппарата. На побережье Белого моря из-за послеледникового поднятия берега образовалось множество водоемов на разных стадиях изоляции от моря, обладающих устойчивой стратификацией, которые квалифицируются как меромиктические водоемы прибрежного морского типа (Ib) [5, 9]. В большинстве из них обнаружены цветные прослойки, маркирующие хемоклин [7, 8]. Замечено, что в водоемах, еще не утративших с ним связь, эта прослойка имеет красные оттенки, в давно отделившихся, где поверхностный слой воды (миксолимнион) уже стал пресным, она зеленого цвета. Предыдущие исследования показали, что хемоклин находится на самой границе фотической зоны, куда доходит менее 1% световой энергии, и глубина, на которой он расположен, зависит от цветности поверхностной воды, обусловленной гуминовыми веществами [2].

Источником растворенных органических веществ (РОВ) в прибрежных водоемах являются морская вода, где их концентрация сравнительно низкая, и пресный сток с берегов, где она высокая. Таким образом, естественно искать связь между концентрацией РОВ и соленостью: чем большее участие в формировании водной массы водоема принимает море, а не береговой сток, тем она ниже, и

наоборот. Но эту связь усложняют следующие обстоятельства: (1) концентрация РОВ в береговом стоке варьирует в зависимости от того, идёт ли вода из болот с их очень высокой концентрацией РОВ, или вода стекает по поверхности земли или просачивается сквозь рыхлые породы, почти не обогащаясь РОВ. (2) Опреснение водоема зависит от атмосферных осадков, в которых РОВ нет совсем; (3) Замерзание водоема зимой приводит к вымораживанию из льда рассола вместе с РОВ и погружению этого рассола в нижние горизонты, в результате чего верхние слои опресняются и лишаются РОВ, а в нижних одновременно повышаются солёность и концентрация РОВ. (4) Существуют процессы абиогенные и биогенные процессы деградации и осаждения РОВ в водоемах, которые трудно поддаются оценке. В силу перечисленных обстоятельств представляется обоснованной непосредственная количественная оценка концентрации РОВ и солёности в условиях разных водоемов.

Недавно мы установили, что спектр света, проникающего на глубину хемоклина, различается в водоемах, находящихся на разных стадиях изоляции. В водоемах с соленым миксолимнионом до хемоклина доходит преимущественно зеленый свет, а в озерах с пресным верхним слоем – красный и оранжевый. Это связано с различиями в концентрации гуминовых веществ, которые, с одной стороны, эффективно поглощают коротковолновую часть видимого спектра и играют роль желтого светофильтра, а с другой – затеняют слой с фототрофами и определяют его глубину, тем самым регулируя поступление красной части спектра, которую эффективно поглощают молекулы воды. В районе наших исследований морская вода характеризуется низкими значениями оптической плотности в УФ диапазоне из-за низкой концентрации РОВ морского генезиса, пресные водотоки, в основном болотного происхождения – более высокой концентрацией РОВ и большими оптическими индексами, а полуизолированные водоемы – промежуточными значениями [1, 3]. В океанологических исследованиях для морской воды, смешанной с пресными речными стоками (например, в эстуариях рек) известна корреляция солёности воды и оптической плотности в УФ диапазоне [4]. Можно ожидать существование прямой связи между количеством РОВ в миксолимнионе и солёностью воды в нем. Целью данной работы была проверка этой гипотезы.

Объекты и методы

В семи прибрежных стратифицированных водоемах, в разной степени изолированных от моря, отобраны пробы поверхностной воды (0-0,5 м). В них измерена солёность воды (кондуктометром YSI Pro), а также оптическая плотность (на спектрофотометре PV1251 в кварцевой кювете с длиной оптического пути 3 см) для света с длиной волны 380 нм, принятой для фотометрического определения цветности воды. В числе исследованных водоемов: 1) морская бухта Биофильтров, свободно обменивающаяся водой с открытой морской акваторией (ББ); 2) лагуна на Зеленом мысе, заполненная морской водой (ЛЗМ); 3) лагуна под названием «Озеро Кисло-Сладкое» с соленым, лишь немного разбавленным поверхностным слоем воды (КС); 4) озеро Большие Хрусломены с солоноватым миксолимнионом (БХ); 5 и 6) озера

Трехцветное (ТЦ) и Еловое с пресным миксолимнионом (ЕЛ); 7) озеро Нижнее Ершовское (НЕ), у которого меромиктическая фаза чередуется с полностью пресноводной, но поверхностный слой всегда пресный. Пробы отбирали в летнее время (с мая по сентябрь) в 2021, 2022 и 2023 гг. Проанализировано 33 пробы без фильтрации и 19 проб, пропущенных через нейлоновый фильтр с диаметром пор 0,22 мкм. Оптические плотности приводили к оптической плотности при 1 см.

Результаты

Значения солености воды в исследованных пробах варьировали от 0 до 24,5‰ при среднем $11,7 \pm 4,2$ ‰ и медиане 9,4‰. Значения оптической плотности воды для света с длиной волны 380 нм были в диапазоне 0,004-0,127, средняя $0,06 \pm 0,03$, медиана 0,04. Коэффициент линейной корреляции для нефiltroванных проб составил $-0,81$ (рис. 1А), для фильтрованных $-0,90$ (рис. 1Б). Это говорит о наличии обратной связи между соленостью и оптической плотностью воды.

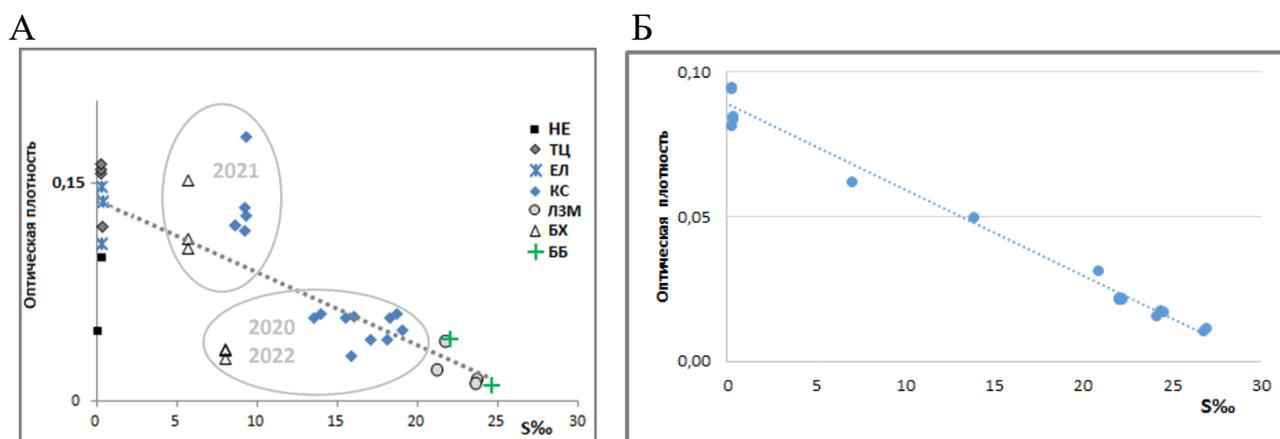


Рис. 1. Зависимость солености и оптической плотности воды на длине волны 380 нм в поверхностных водах исследованных водоемов. А – в нефiltroванных пробах (2020-2022 гг.), Б – в фильтрованных пробах (2022 г.). Обведены значения для оз. Кисло-Сладкое и Б. Хрусломены в разные годы.

Кроме того, мы обнаружили межгодовые различия в значениях оптической плотности воды. В большинстве водоемов, для которых имелись данные за разные годы, в 2021 г. оптическая плотность воды на длине волны 380 нм была значительно больше, чем в 2020 и 2022 гг. (табл. 1, рис. 1А). В оз. Кисло-Сладкое она увеличилась почти в 3 раза, в оз. Большие Хрусломены – в 3-4 раза, и в оз. Нижнее Ершовское – в 1,5 раза. В бухте Биофильтров во все годы оптическая плотность была низкой и менялась незначительно.

Особенно убедительно это проявилось в оз. Кисло-Сладкое, в котором было отобрано больше всего проб. Диапазон значений оптической плотности для света с длиной волны 380 нм в 2021 г. сильно отличался от таковых в 2020 и 2022 гг. и не пересекался с ними, тогда как диапазоны 2020 и 2022 гг. были близкими.

Таблица 1. Межгодовая изменчивость оптической плотности воды для света с длиной волны 380 нм в поверхностном слое четырех исследованных водоемов

Водоем / год	2020	2021	2022
Бухта Биофильтров (БФ)	0,023	0,007	0,033
Оз. Кисло-Сладкое (КС)	0,033-0,041	0,082-0,127	0,031-0,043
Оз. Большие Хрусломены (БХ)	0,022-0,026	0,074-0,106	
Оз. Нижнее Ершовское (НЕ)		0,103	0,069

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают гипотезу о связи количества РОВ в миксолимнионе и солености воды в нем за счет консервативного смешения пресной воды с большой концентрацией РОВ и соленой морской воды с низкой концентрацией органики. В фильтрованных и нефильтрованных пробах тенденция одинакова, при том, что в нефильтрованных, кроме растворенной органики, могла в небольшом количестве присутствовать взвесь и микроскопические живые организмы, которые могут вносить некоторый вклад в поглощение света в коротковолновом диапазоне.

Что касается синхронного увеличения растворенной органики в разных водоемах в 2021 г., то мы полагаем, что в 2021 г. в районе исследований сложились условия, благоприятствующие смыву почвенной органики, что отразилось на качестве воды в полуизолированных водоемах и не коснулось открытой морской акватории. Судя по тому, что в 2021 г. соленость также была меньшей, смыв органики был сопряжен с увеличенным поступлением пресной воды, что дополнительно подтверждает проверяемую гипотезу. В ряду водоемов на разных стадиях изоляции наибольшая вариабельность оптической плотности поверхностных вод характерна для водоемов, занимающих промежуточное положение между морскими и пресноводными.

Эти данные хорошо согласуются с предыдущими наблюдениями [1, 3], где было выяснено, что значения оптической плотности РОВ в УФ области и коротковолновой части видимого диапазона выше в водоемах с поступлением пресных болотных вод.

Т. Холтроп с соавторами [6] обосновали существование в водоемах пяти дискретных экологических ниш с разными диапазонами светового спектра: фиолетовым, синим, зеленым, оранжевым и красным, и биогеографическую зональность в их распространении. Она связана с широтным изменением количества растворенных органических веществ (РОВ) в морской воде. От субтропических районов океана, где практически нет РОВ и преобладает фиолетовая световая ниша, по направлению к умеренной зоне и дальше к мелководным шельфовым районам увеличение количества РОВ приводит к смещению световой ниши в сторону зеленой, а в эвтрофных и гиперэвтрофных внутренних водах и эстуариях к желтой и оранжевой. На примере беломорских отделяющихся водоемов мы видим еще один фактор, определяющий мощность «желтого светофильтра РОВ» и, как следствие, подводные световые ниши – соленость поверхностного слоя воды.

Литература

- [1] Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Емельянец П.С., Пацаева С.В. Оптические свойства гуминовых веществ воды отделяющихся водоемов Канда-лакшского побережья Белого моря // Тр. IX Межд. Науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». Т. I. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020. С. 344-347.
- [2] Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Освещенность в разных слоях меромиктических озер на побережье Белого моря // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Мат-лы V Всероссийской научной конференции с международным участием. Т. 2. Апатиты: КНЦ РАН, 2014. С. 183-186.
- [3] Пацаева С.В., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Спектрально-оптические свойства растворенного органического вещества меромиктических водоемов Белого моря // География: развитие науки и образования. Т. I. Коллективная монография по мат-лам ежегодной межд. науч.-практ. конф. LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 г. СПб: Астерион, Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 329-333.
- [4] Drozdova A.N., Kravchishina M.D., Khundzhua D.A., Freidkin M.P., Patsaeva S.V. Fluorescence quantum yield of CDOM in coastal zones of the Arctic seas. *International Journal of Remote Sensing*. 2018, v. 39, no. 24. P. 9356-9379.
- [5] Hakala A. Meromixis as a part of lake evolution – observations and a revised classification of true meromictic lakes in Finland // *Boreal Environ. Res.* 2004, v. 9. P. 37-53.
- [6] Holtrop T., Huisman J., Stomp M., Biersteker L., Aerts J., Grébert T., Partensky F., Garczarek L., Woerd H.J. Vibrational modes of water predict spectral niches for photosynthesis in lakes and oceans // *Nature Ecology & Evolution*. 2021, 5(1). P. 55-66.
- [7] Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // *J. Mar. Biol. Ass.* 2015, v. 95(8). P. 1579-1590.
- [8] Krasnova E., Matorin D., Belevich T., Efimova L., Kharcheva A., Kokryatskaya N., Losyuk G., Todorenko D., Voronov D., Patsaeva S. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // *Chin. J. Ocean. Limn.* 2018, v. 6. P. 1-16.
- [9] Stewart K.M., Walker K.F., Likens G.E. Meromictic lakes // *Encyclopedia of inland waters*. Oxford: Acad. Press, 2009. P. 589-602.

S u m m a r y. The work is aimed at testing the hypothesis about a direct relationship between the amount of humic substances in the mixolimnion and the salinity of water in the surface waters of coastal stratified lagoons, which are at different stages of isolation from the White Sea. A high negative correlation was found between water salinity and absorbance for the UV light at 380 nm. In semi-isolated lagoons, interannual difference in DOM concentrations was revealed. In 2021, the absorbance was significantly higher than in 2020 and 2022, which may be due to the increased washout of soil organic matter in the entire study area.

СОЕДИНЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОЙ СЕРЫ В ВОДЕ ОЗЕРА ЕЛОВОЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)

Г.Н. Лосюк, Н.М. Кокрятская, Е.А. Вахрамеева

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика
Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, г. Архангельск, glosyuk@yandex.ru*

SULFUR GEOCHEMISTRY IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE LAKE ELOVOE (KANDALAKSHSKIY BAY OF THE WHITE SEA)

G.N. Losyuk, N.M. Kokryatskaya, E.A. Vakhrameyeva

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk

Аннотация. В работе представлены результаты исследования проб донных осадков оз. Еловое (Кандалакшский залив Белого моря), находящегося на меромиктической стадии отделения от моря. Получены данные гранулометрического состава отобранного керна и содержания форм восстановленной серы. Среднее содержание форм восстановленной серы (ΣS_{H_2S}) в донных осадках составило 0,67%, преобладающими формами являются пиритная и органическая сера (вместе в сумме они составляют около 93%).

Ключевые слова: отделяющиеся водоемы, соединения восстановленной серы, сульфатредукция, сульфиды, элементная сера.

Введение

Озеро Еловое (66°28.7' N, 33°16.9' E) расположено на Карельском берегу Белого моря и находится на меромиктической стадии отделения. Морские меромиктические водоемы являются интересными объектами исследования процессов, протекающих как в водной толще, так и в донных осадках. В России насчитывается около 53 меромиктических озер, в том числе и отделившихся от Белого моря. Карельский берег Белого моря постепенно поднимается после отступления ледника, средняя скорость этого процесса примерно 3-4 мм/год, что приводит к отделению небольших заливов и лагун от моря и превращению их в озера со стратифицированной структурой различной устойчивости.

Объекты и методы

Озеро Еловое – нижнее из системы проточных, соединенных ручьем озер; из озера в море вытекает пресный ручей, приливных колебаний нет. Водоем небольшой по размерам: длина 1000 м, ширина 400 м, максимальная глубина 5 м [3].

В озере наблюдается стратифицированная структура: сначала практически пресный верхний слой толщиной около 0,5 м, ниже располагается водная масса с соленостью 16-25‰. На глубине 3,0-3,5 м находится хемоклин, в районе которого наблюдается слой воды красного цвета, обусловленный развитием криптофитовой водоросли из рода *Rhodomonas* [4]. Ниже хемоклина в анаэробных условиях накапливается сероводород, максимальные количества которого в придонных слоях в сентябре 2018 г. достигали 160 мг/л. В марте 2021 г. содержание сероводорода увеличилось до 210 мг/л, что подтверждает стабильную стратификацию в водоеме (меромиктическую структуру) и прогрессирующее сероводородное заражение в результате бактериального восстановления сульфатов в толще воды.

Для продолжения изучения особенностей процесса сульфатредукции в донных отложениях (ДО), а именно геохимических параметров этого процесса, была отобрана в марте 2021 г. колонка осадков (рис.1) и проанализирована на содержание форм восстановленной серы. Отбор производили ударной прямой точной грунтовой трубкой Aquatic Research Instruments (США) с внутренним диаметром 50 мм, длиной 60 см.

Гранулометрический состав ДО озера определяли в соответствии с [5]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Содержание органического вещества (ОВ) оценивалось по содержанию потерь при прокаливании (ППП) [6]. Анализ проб ДО на содержание форм окисленной и восстановленной серы проводили по методике систематического фазового анализа, разработанной в лаборатории геохимии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН [2].



Рис. 1. Карта – схема расположения точки отбора проб ДО озера Еловое.

Обсуждение результатов

В наиболее глубокой части акватории озера Еловое был отобран керн донных осадков длиной 36 см (место отбора указано на рис.1), представленных обводненными серыми илами; влажность образцов уменьшалась от 93 до 49% от поверхностных горизонтов к нижележащим.

Как показано на рис. 2, гранулометрический состав донных отложений озера Еловое разнообразен. Поверхностные часть керна (0-9 см) представлены алевро – пелитовыми илами, содержание пелита составляет от 53 до 60%. Далее идет пелито-алеврит (алеврита до 59%), а нижележащий слой представлен пелито-песчаным алевритом с содержанием песка 28% и алеврита 53%. Количество ППП в керне уменьшается с глубиной от 28 до 5%.

В керне ДО озера Еловое, отобранных для анализа, было определено содержание форм восстановленной серы, представляющих собой продукты трансформации бактериального сероводорода [1]. В результате исследования получено, что количество моносльфидной серы (S^{2-}) монотонно уменьшается с глубиной от 0,015 до 0,002% (все концентрации даны в расчете на сухой осадок). Содержание элементной серы (S^0) меняется по глубине неравномерно: в верхних 10 см керна ее количество примерно одинаковое - около 0,03%, на горизонте 12-15 см резко возрастает до 0,13%, а затем уменьшается до 0,02%.

Значения концентраций пиритной серы ($S_{\text{пир}}$) уменьшаются от верхних слоев до нижних – от 0,67 до 0,15%, однако при этом её доля в общем содержании форм не изменяется (рис.3). Содержание органической серы ($S_{\text{орг}}$) максимально в поверхностных слоях осадков (около 0,55% в верхних 10 см), а ниже уменьшается до 0,10% (в среднем 0,26% по колонке).

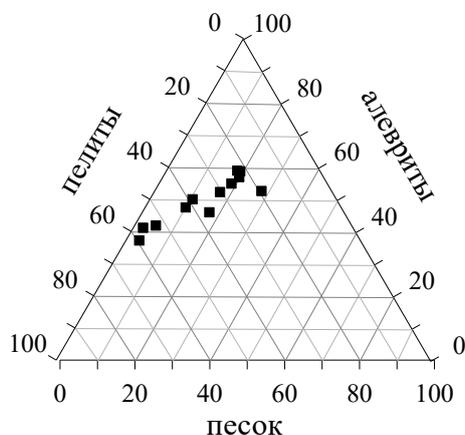


Рис. 2. Трехкомпонентная диаграмма гранулометрического состава керн донных отложений озера Еловое.

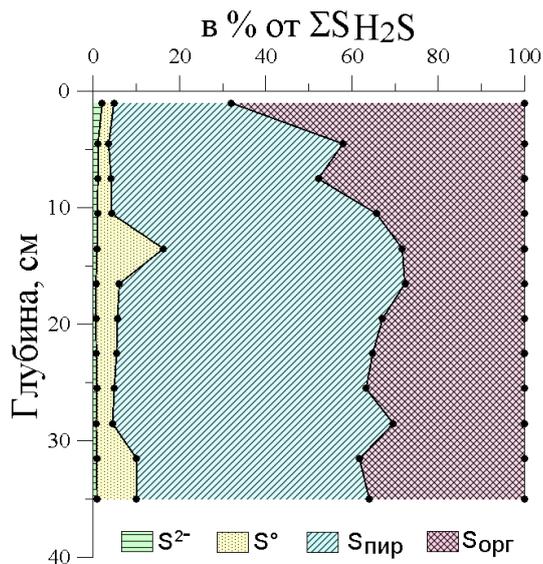


Рис. 3. Распределение соединений восстановленной серы (в % от общего содержания форм серы) в ДО озера Еловое.

Общее содержание восстановленной серы (ΣS_{H_2S}) в осадках озера Еловое изменялось от 0,28 до 1,24%, составляя в среднем 0,67%. Наиболее высокие значения ΣS_{H_2S} отмечены на горизонтах 3-9 см и обусловлены максимальным накоплением пиритной и органической серы (рис. 3), их суммарный вклад в общее содержание восстановленной серы составляет более 90% (83-96%). Наименьший вклад вносит моносulfидная сера: около 1-2% от ΣS_{H_2S} в осадках озера. Элементарная сера, образование которой возможно только при окислении сероводорода, вносит достаточно заметный вклад на глубине 12-15 см - до 15%.

Выводы

Таким образом, были получены данные по гранулометрическому составу и содержанию форм восстановленной серы в ДО озера Еловое, находящегося на меромиктической стадии отделения от моря.

Отложения озера представлены алевро-пелитовыми илами.

В ДО оз. Еловое достаточно большое количество ΣS_{H_2S} (среднее содержание по колонке – 0,67%), что свидетельствует об интенсивном протекании восстановительных процессов в осадках. Наибольший вклад в суммарное содержание вносит пиритная сера (в среднем 55% по колонке), на втором месте – органическая сера (примерно 38%). Вклад элементной серы заметен только на горизонте 12-15 см, количество сульфидной серы минимально – 1-2% от ΣS_{H_2S} . Подобное распределение характерно больше для морских ДО, но процесс сульфатредукции в озере протекает более интенсивно, по сравнению с данными для глубоководных станций Белого моря, где среднее значение параметра ΣS_{H_2S} варьируется в пределах 0,01-0,71%.

Литература

- [1] Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М.; Наука, 1984, 272 с.
- [2] Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках // Химический анализ морских осадков. Под ред. Э.А. Остроумова. М.; Наука, 1980, С. 5-27.
- [3] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. Т. 12 из Труды Беломорской биостанции МГУ. Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. С. 211-241.
- [4] Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н. и др. Цветение криптофитовой водоросли *rhodomonas* sp. (cryptophyta, pyrenomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. 2014. Т. 83, № 3. С. 346-354.
- [5] МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
- [6] Heiri O., Lotter A., Lemeke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results, *Journal of Paleolimnology*, 2001, V.25. P.101-110.

S u m m e r y. The paper presents the results of a study of samples of bottom sediments from Lake Elovoye (Kandalakshskiy bay, White Sea), which is at the meromictic stage of separation from the sea. Data on the granulometric composition of the sampled core and the content of reduced forms of sulfur were obtained. The average content of reduced sulfur forms (ΣS_{H_2S}) in bottom sediments was 0,67%, the predominant forms are pyrite and organic sulfur (together they make up about 93% in total).

ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ МИДИЙ *MYTILUS* ИЗ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЁМОВ

Ю.Т. Марченко¹, С.С. Малавенда², Е.Д. Краснова³, Д.А. Воронов⁴,
М.А. Сказина¹, П.П. Стрелков¹

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, *y.marchenko@spbu.ru, m.skazina@spbu.ru, p.strelkov@spbu.ru*

²МГТУ, г. Мурманск, *msergmstu@yandex.ru*

³МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, *e.d.krasnova@mail.ru*

⁴ИППИ РАН, г. Москва, *da_voronov@mail.ru*

PECULIARITIES OF MUSSEL *MYTILUS* POPULATIONS FROM MEROMICTIC WATERBODIES

J.T. Marchenko¹, S.S. Malavenda², E.D. Krasnova³, D.A. Voronov⁴,
M.A. Skazina¹, P.P. Strelkov¹

¹*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg*

²*Murmansk State Technical University, Murmansk*

³*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

⁴*Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow*

Аннотация. Цель нашего исследования – изучить таксономический состав и соотношение полов в популяциях мидий *Mytilus*, обитающих в морских меромиктических водоёмах. Изучено пять водоёмов в Белом, Баренцевом и Норвежском морях. Таксономический состав определяли генетически либо морфологически, пол моллюсков – микроскопией тканей гонад либо генетически. В большинстве случаев отмечено оба вида мидий (аборигенный *M. edulis* и инвазивный *M. trossulus*), но частота *M. trossulus* была повышена. В двух случаях наблюдалось неравновесное соотношение полов с доминированием самцов. Эти результаты не противоречат гипотезам о жизненных стратегиях видов мидий и о влиянии гипоксии на определение пола у морских животных.

Ключевые слова: Mytilus edulis, Mytilus trossulus, меромиктические водоёмы, соотношение полов.

Введение

В меромиктических водоёмах наблюдается стратификация вод, отсутствует перемешивание между слоями с различными физико-химическими свойствами, в придонном слое нередко формируется бескислородная зона [7, 9]. В фокусе нашего внимания – морские меромиктические водоёмы северной Европы, в которых обитает морская биота, в частности – двустворчатые моллюски мидии *Mytilus*. Регион нашего исследования интересен тем, что в нём сосуществуют и вступают в гибридизацию два вида мидий – *M. edulis* и *M. trossulus*. *M. edulis* является аборигенным видом, а *M. trossulus* – инвазивным [10]. В симпатрии два вида демонстрируют разные экологические предпочтения, которые мы изучаем [5, 8].

Второй вопрос, который нас интересует, связан с неравновесным соотношением полов в популяциях мидий. Эта проблема обсуждалась на конференции 2019 года на примере популяции мидий из реликтового оз. Могильное (о-в Кильдин, Баренцево море), где соотношение самок и самцов оказалось 1:3 против ожидаемого 1:1 [2].

Цель нашей работы – изучить таксономический состав и соотношение полов в популяциях мидий из меромиктических водоёмов северной Европы. В

частности, на примере популяций мидий из двух водоёмов в Белом море, которые ранее нами никогда не исследовались.

Объекты и методы

Мидии были собраны в 2014-2021 гг. в пяти водоёмах (табл. 1, рис. 1). За единственным исключением, во всех изученных водоёмах наблюдается устойчивая стратификация вод. Исключением является губа Лобаниха в Белом море, в которой сероводородное заражение возникает эпизодически. Например, такое заражение было зарегистрировано в августе 2020 г., следствием которого стала массовая гибель гидробионтов [3].

Мидии из меромиктических водоёмов (N=48-84) собирались легководолазным способом. Во всех водоёмах, кроме Лобанихи, мидии не были отмечены в верхнем опреснённом слое. Краткая информация об условиях, в которых обитали мидии, приведена в Таблице 1. В Лобанихе было изучено две выборки с разной глубины: на глубине 2.5 м и на глубине 3-9 м. Дополнительно, мидии собирались в контрольных морских точках (N=15-55).

Таксономический состав выборок мидий определялся либо морфологическим методом, либо генетически с использованием диагностических для *M. edulis* и *M. trossulus* локусов [6]. Генетически наиболее подробно (10 локусов) была изучена беломорская популяция из лагуны на Зелёном мысе, что позволило также оценить степень гибридизации между *M. edulis* и *M. trossulus*.

В популяции из оз. Россфиорд пол моллюсков определяли генетически, в остальных популяциях – с использованием микроскопии ткани гонад.

Обсуждение результатов

С таксономическим составом выборок мидий из меромиктических водоёмов можно ознакомиться на Рисунке 1. Везде, кроме оз. Могильное, обитали оба вида – *M. edulis* и *M. trossulus*. Частота *M. trossulus* варьировала от 24% (лагуна на Зелёном мысе, Рисунок 2В) до 60% (III ковш губы Ивановская, Рисунок 2Б). В оз. Могильное (рис. 2А) и в контрольной точке обитали только *M. edulis*. В меромиктических водоёмах частота *M. trossulus* всегда была выше, чем в контрольных точках. Наибольшие различия в частоте *M. trossulus* наблюдались в губе Ивановской (60% в Шковше и 20% в контрольной выборке), наименьшие – в Лобанихе (30% на глубине 2.5 м и 18% в контрольной выборке). К сожалению, мы не можем надёжно судить о таксономическом составе второй выборки из Лобанихи (глубина 3-9 м), поскольку морфологический метод, который мы используем для различения двух видов [6], ещё не тестировался на мидиях с такими массивными створками и с таким возрастом (рис. 2Г). Мидий из этой выборки предстоит генотипировать.

В лагуне на Зелёном мысе частота гибридов составляла 14% (12 особей из 84), среди которых 10 особей – гибриды первого поколения, 2 особи – вероятные беккроссы от скрещивания гибрида первого поколения с *M. edulis*. Полученные результаты хорошо соотносятся с литературными оценками степени гибридизации для литоральных популяций в Белом море [5].

Таблица 1. Краткая характеристика меромиктических водоёмов и условия (глубина, солёность), в которых обитают мидии. Более подробная информация о водоёмах содержится в приведённых ссылках на литературные источники

Водоём Характеристики	Озеро Россфиорд [4]	Озеро Могильное [9]	III ковш губы Ивановская [1]	Губа Лобаниха [3]	Лагуна на Зелёном мысе [7]
Координаты	69.363056, 18.313611	69.319416, 34.349987	68.259326, 38.766542	66.5559, 33.23695	66.5305556 , 33.095
Тип водоёма	морское озеро	морское озеро	ковшовая губа	ковшовая губа	морская лагуна
Связь с морем	пролив 4 км, глубина 0,5 м	подземная фильтрация	порог 0.5 м	порог 2 м	осушаемый порог
Глубина, м	60	16,5	20	13,5	6,5
Поверхностное опреснение	пресноводный слой 0-3 м	слой 0-3 м, 5-10‰	слой 0-4 м, 4-13‰	слабое, сток ручьев	слабое
Сероводород- ный слой, м	15-60	8-16,5	12-20	8-13,5	5-6,5
Глубина сбора мидий, м	5	3	4-6	2,5; 3-9	2,5-3
Солёность в ме- стообитании ми- дий, ‰	12	10-15	13-17	25; 26	27

Неравновесное соотношение полов с доминированием самцов наблюдалось в двух водоёмах из пяти: в смешанной популяции мидий из оз. Россфиорд (доля самцов 70%) и в популяции *M. edulis* из оз. Могильное (доля самцов 75%). Незначительный перевес в сторону самцов наблюдался также в Лобанихе (выборка с глубины 3-9 м), но различия не были статистически значимыми (точный критерий Фишера). Согласно нашим собственным и литературным оценкам (см. обзор в [2]), в популяциях мидий из морей северной Европы соотношение полов близко 1:1. Таким образом, хоть и не все популяции мидий из меромиктических водоёмов демонстрируют неравновесное соотношение полов, но пока только для популяций из таких водоёмов отмечено доминирование самцов.

Пока мы не можем с уверенностью сказать, какие именно факторы влияют на выявленные нами закономерности. Католикова и соавторы [5] высказали предположение, что *M. trossulus* является более оппортунистическим видом, чем *M. edulis*. Возможно, в меромиктических водоемах, как местообитаниях с специфическими и нестабильными условиями, этот вид имеет конкурентное преимущество. У некоторых рыб показано переопределение пола с женского на мужской в условиях гипоксии. Возможно, сходным образом гипоксия влияет и на моллюсков [2]. Представленные результаты являются предварительными. Мы хотим продолжить данную работу, для чего планируем расширить географию исследований.

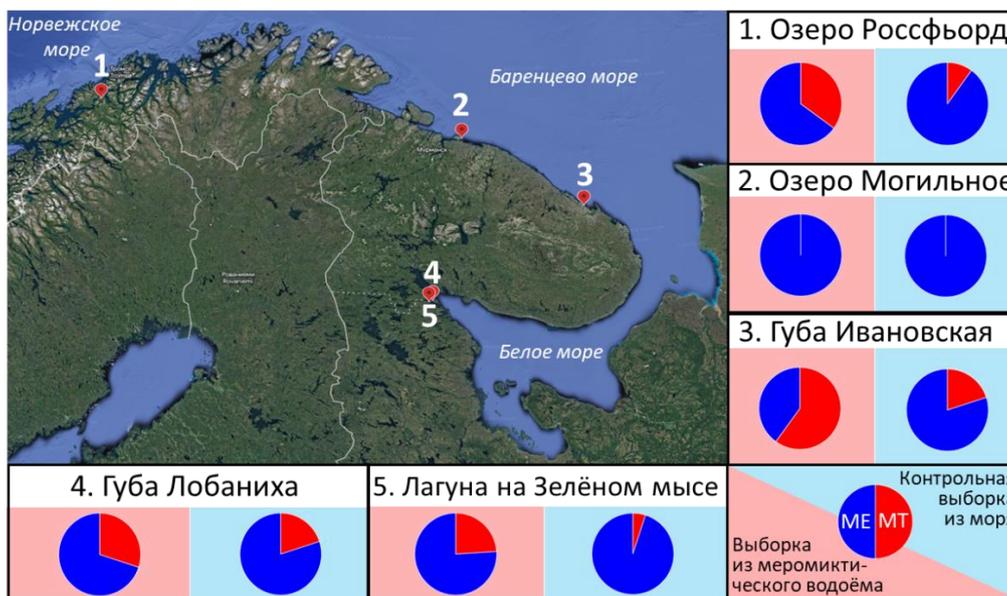


Рис. 1. Карта-схема района исследования и таксономический состав выборок мидий из меромиктических водоёмов.

Красными метками на карта-схеме показаны точки исследования. Круговые диаграммы отражают частоту *M. trossulus* (красный сектор) и *M. edulis* (синий сектор) в выборках. Диаграммы на розовом фоне – выборки из меромиктических водоёмов, на голубом – выборки из контрольных точек. Для губы Лобаниха показаны данные только для выборки с глубины 2.5 м.

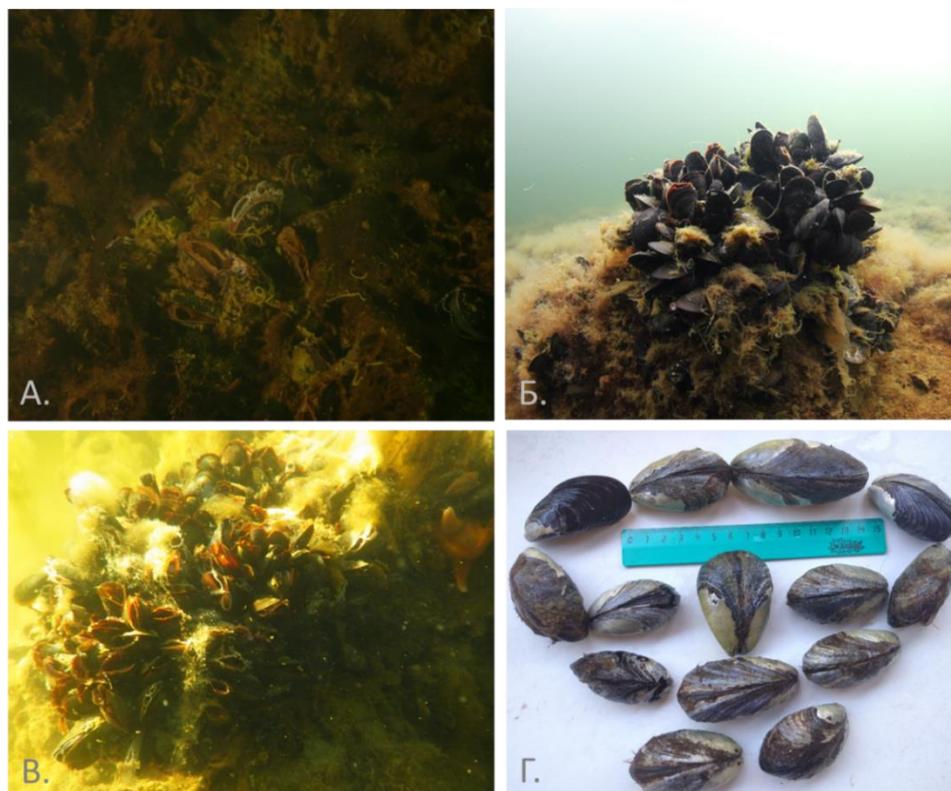


Рис. 2. Фотографии мидий из меромиктических водоёмов.

А. Оз. Могильное, фото – С. Голдин. Б. Шковш губы Ивановская, фото – М. Федюк. В. Лагуна на Зелёном мысе, автор фото – С. Малавенда. Г. Мидии с массивными створками из губы Лобаниха (выборка с глубины 3-9 м).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-74-20024). Авторы признательны администрации Кандалакшского заповедника за возможность работать на его акватории.

Литература

- [1] Бобков А.А. и др. Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2010. Т. 1. С. 86-99.
- [2] Иванова А. В. Проблема экстраординарного соотношения полов в популяциях животных меромиктических водоёмов (на примере мидий р. *Mytilus*) // География: развитие науки и образования. 2019. С. 318-323.
- [3] Краснова Е. Д. и др. Внезапный замор бентоса из-за появления сульфидной зоны в губе Лобаниха в августе 2020 г. (Белое море, Кандалакшский залив) // География: развитие науки и образования. 2021. С. 313-317.
- [4] Hognestad P.T. The lake rossfjord herring (*Clupea harengus* l.) and its environment // ICES J Mar Sci. 1994, v. 51(3). P. 281-292.
- [5] Katolikova M. et al. Genetic, ecological and morphological distinctness of the blue mussels *Mytilus trossulus* Gould and *M. edulis* L. in the White Sea // PLoS One. 2016, v. 11(4). e0152963.
- [6] Khaitov V. et al. Species identification based on a semi-diagnostic marker: Evaluation of a simple conchological test for distinguishing blue mussels *Mytilus edulis* L. and *M. trossulus* Gould // Plos one. 2021, v. 16(7). e0249587
- [7] Krasnova E.D. Ecology of meromictic lakes of Russia. 1. Coastal marine waterbodies // Water Resources. 2021, v. 48(3). P. 427-438.
- [8] Marchenko J. et al. Taxonomically mixed blue mussel *Mytilus* populations are spatially heterogeneous and temporally unstable in the subarctic Barents Sea // bioRxiv. 2022. doi: <https://doi.org/10.1101/2022.12.08.519596>.
- [9] Strelkov P. et al. Marine lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar biology. 2014, v. 37. P. 297-310.
- [10] Väinölä R., Strelkov P. *Mytilus trossulus* in northern Europe // Marine biology. 2011, v. 158. P. 817-833.

S u m m a r y. The aim of our study was to investigate the taxonomic composition and sex ratio in mussel *Mytilus* populations inhabiting marine meromictic waterbodies. Five waterbodies in the White, Barents and Norwegian Seas were studied. Taxonomic composition was determined genetically or morphologically, the sex of mollusks was determined by gonad tissue microscopy or genetically. Both mussel species (native *M. edulis* and invasive *M. trossulus*) were observed in most cases, but the frequency of *M. trossulus* was elevated. In two cases, an unequal sex ratio with male dominance was observed. These results do not contradict hypotheses about life strategies of mussel species and the effect of hypoxia on sex determination in marine animals.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СООБЩЕСТВ ПРОТИСТОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЛАГУНЕ НА ЗЕЛЕНОМ МЫСЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Ю.В. Миндолина¹, Е.Д. Краснова², Д.А. Воронов³, А.О. Плотников¹

¹ *Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН, г. Оренбург, yliamindolina@mail.ru; protoz@mail.ru*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e_d_krasnova@mail.ru*

³ *Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, da_voronov@mail.ru*

TAXONOMIC COMPOSITION OF PROTIST COMMUNITIES IN A COASTAL STRATIFIED LAGOON ON CAPE ZELENY (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)

Y.V. Mindolina¹, E.D. Krasnova², D.A. Voronov³, A.O. Plotnikov¹

¹ *Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of RAS, Orenburg*

² *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

³ *Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, RAS, Moscow*

Аннотация. С помощью световой и сканирующей электронной микроскопии в 2021 и 2022 гг. изучено разнообразие и вертикальная структура сообществ протистов в меромиктической лагуне на Зеленом мысе, находящейся на побережье Белого моря. Всего выявлено 68 видов и неидентифицированных до вида морфотипов протистов. Найденные виды принадлежат к 9 макротаксономическим группам протистов: SAR, Excavates, Opisthokonta, Naptista, Cryptista, Obazoa, Amoebozoa, Ancycomonadida и «CRuMs». Наибольшее количество обнаруженных видов являются представителями Alveolata, Stramenopiles, Holozoa и Discoba.

Ключевые слова: сообщество протистов, меромиктический водоем, световая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, Белое море.

Введение

Меромиктические водоемы характеризуются стойкой стратификацией, в результате которой структура водной толщи состоит из нескольких слоев, не перемешивающихся друг с другом. На побережье Белого моря сложились благоприятные условия для образования меромиктических водоемов, относящихся к эктогенным водоемам прибрежного морского типа [4]. Одним из таких водоемов является лагуна на мысе Зеленый в Кандалакшском заливе Белого моря. Это стратифицированная морская лагуна, частично изолированная от Белого моря. Многолетние наблюдения за меромиктическими водоемами на побережье Белого моря на базе Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ показали, что лагуна на Зеленом мысе характеризуется трехслойной гидрологической структурой подобно другим меромиктическим водоемам данного региона [7, 8]. В частности, вертикальное распределение сообществ протистов в оз. Кисло-Сладкое, меромиктическом водоеме побережья Белого моря, оказалось напрямую связанным с градиентами физико-химических факторов [9]. Учитывая многочисленность и разнообразие стратифицированных водоемов на побережье Белого моря, целью данного исследования стала оценка вертикальной структуры сообществ протистов в стратифицированной лагуне на Зеленом мысе.

Регион исследований, объекты и методы

Лагуна на Зеленом мысе – соленый водоем с устойчивой стратификацией, частично изолированный от губы Кислая (Белое море, Кандалакшский залив) в ее вершине (66°31'50" с.ш., 33°5'42" в.д.) [4]. Соленость лагуны выше, чем в соседнем море, что связано с относительно небольшим водоразделом, слабым поступлением пресной воды и накоплением рассола, образующегося при замерзании морской воды зимой [1, 2]. В условиях застоя ниже глубины 5 м в течение всего года поддерживаются анаэробные условия с сульфидной аноксией, обусловленной деятельностью бактерий-сульфатредукторов.

Отбор проб воды проводили в сентябре 2021 и 2022 гг. с различных горизонтов с помощью погружного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 (США).

Активное разнообразие протистов в образцах воды, сконцентрированных путем центрифугирования, исследовали в день отбора проб под светолюминесцентным микроскопом Leica DM2500 (Leica Microsystems, Германия) с набором фильтров N2.1 (возбуждение/пропускание 515-560/580 нм). При изучении скрытого разнообразия образцы воды переносили в чашки Петри, добавляли кормовую культуру бактерий и инкубировали в лабораторных условиях, соответствующих естественным физико-химическим характеристикам для каждого горизонта, в течение нескольких недель. Для идентификации протистов, изучения морфологии клеток, характера движения и морфометрии использовали микроскопы AxioScope A1 (Carl Zeiss, Германия) с объективами ДИК, фазового контраста и водной иммерсии, оснащенные цветными камерами AxioCam 105 и AxioCam 208 (Carl Zeiss, Германия).

Идентификацию некоторых протистов проводили с помощью сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа Tescan Mira 3 (Tescan, Чехия) в Центре выявления и поддержки одаренных детей «Гагарин» (Оренбург, Россия).

Основные результаты и выводы

Гидрологическая структура лагуны на Зеленом мысе в оба периода исследований состояла из трех зон: 1) соленой (24-25‰) аэробной зоны от поверхности до глубины 4 м; 2) зоны хемоклина между горизонтами 4,5-5,5 м; 3) придонной анаэробной зоны с соленостью 26-28‰. Межгодовые различия выражались в положении границы анаэробной зоны между горизонтами 4,5 м и 5,4 м. Эта зона характеризуется ослаблением освещенности, а также резкими градиентами других параметров: возрастанием солености, уменьшением температуры, а главное – падением концентрации кислорода и переходом из окислительных условий в восстановительные. Согласно показаниям наших зондов в этой зоне иногда совместно регистрируются кислород и сероводород, в других случаях оба эти вещества отсутствуют. По всей вероятности, наличие или отсутствие кислорода и сероводорода определяются балансом между окислительным фотосинтезом, сульфатредукцией и аноксигенным фотосинтезом, которые наиболее активно происходят именно в зоне хемоклина [5, 6, 10].

Протисты, найденные в исследованном водоеме в 2021 и 2022 гг., принадлежат к следующим макротаксономическим группам: SAR, Excavates, Opisthokonta, Haptista, Cryptista, Obazoa, Ancyromonadida и «CRuMs». Наибольшее количество видов принадлежит к Alveolata, Stramenopiles, Holozoa и Discoba. Среди Alveolata преобладали Ciliophora. Кроме того, обнаружены некоторые неидентифицированные представители Amoebozoa, Dinoflagellata, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Cercozoa и Diatomea, а также один гетеротрофный протист неясного таксономического положения. Всего в исследованном водоеме выявлено 68 морфологически разнообразных видов и форм протистов, 28 из которых оказались общими для образцов 2021 и 2022 гг.

Наиболее распространенными в образцах 2021 г. были представители Ochrophyta, Cryptophyta, Cercozoa, Dinoflagellata, Amoebozoa и Diatomea. В сентябре 2022 г. наиболее богатые сообщества протистов формировались в аэробных слоях воды от поверхности до границы с хемоклином на глубине 4,4-4,5 м. Наиболее распространенными были таксоны Ochrophyta, Euglenozoa, Amoebozoa и Diatomea. Представители Dinoflagellata в 2022 г. встречались во всех слоях до глубины 5 м.

Воротничковые жгутиконосцы Choanoflagellata, такие как *Diaphanoeca grandis*, *Stephanoeca* sp., *Salpingoeca* sp. отмечались в 2021 г. от глубины 3 м до анаэробной зоны, тогда как жгутиконосец *Monosiga* sp. встречался только в поверхностном слое. В образцах 2022 г. обнаружено и идентифицировано больше видов, относящихся к Choanoflagellata. Большая часть обнаруженных представителей Choanoflagellata были связаны с горизонтами, располагающимися над зоной хемоклина на глубине от 4 до 4,5 м. К ним относятся *D. grandis*, *Salpingoeca* sp., *Monosiga* sp., *Acanthoeca spectabilis*, *Savillea parva*. Несколько видов рода *Stephanoeca* были выявлены в поверхностных слоях.

Инфузории *Cyclidium* sp., *Euplotes* sp., *Helicostomella* sp. в образцах 2021 г. выявлялись выше зоны хемоклина, на глубине 3,0-4,5 м, тогда как *Halteria* sp. и *Pleuronema* sp. обнаружены на горизонтах 5,2-5,3 м, расположенных в зоне хемоклина и характеризующихся анаэробными условиями. Инфузории *Cyclidium* sp. также встречались в этих слоях.

Видовой состав и вертикальное распределение инфузорий в образцах 2022 г. несколько отличалось. Инфузории *Mesodinium* sp., *Helicostomella* sp., *Uronema* sp., *Pleuronema* sp. и *Cyclidium* sp. выявлены в области хемоклина, тогда как *Plagiopyla* sp. и *Holophrya* sp. были связаны с анаэробной зоной. Для поверхностных горизонтов характерны *Strombidium* sp.

Гетеротрофный протист *Telonema* sp. был обнаружен как в 2021 г., так и в 2022 г. Представителей *Telonema* уже встречали в Белом море, в частности, описан новый вид *Telonema tenere* Belyaev, Borodina and Tikhonenkov 2022, обнаруженный в песчаных образцах литорали Белого моря [12]. По нашим данным представители рода *Telonema* широко распространены в исследуемом водоеме и отмечены во всех горизонтах.

Cryptophyta, в частности *Rhodomonas* sp., в меромиктических водоемах, находящихся на начальных стадиях отделения от моря, могут образовывать

окрашенные слои и вызывать гиперцветение [3, 7, 8]. Криптофитовые миксотрофные протисты *Rhodomonas* sp. в образцах 2021 и 2022 гг. выявлены в области хемоклина вызывая там цветение и окрашивая воду в розовый цвет. Сообщается, что *Rhodomonas* sp., обнаруженный в оз. Кисло-Сладком и в лагуне на Зеленом мысу, является идентичным штамму, выделенному из моря Бофорта [3].

В придонной анаэробной зоне исследованного водоема как в 2021, так и в 2022 гг. выявлены анаэробные гетеротрофные протисты, относящиеся к таксону Metamonada, в частности, жгутиконосцы по морфологии схожие с *Carpodomonas*.

С применением методов световой и электронной микроскопии в стратифицированной прибрежной лагуне на мысе Зеленый в 2021 и 2022 гг. выявлено широкое разнообразие гетеротрофных, миксотрофных и автотрофных протистов. Большая часть найденных и идентифицированных протистов являются эвригалинными, однако в основном обнаруженные виды характерны для морских мест обитания. Ранее многие из выявленных видов протистов уже отмечались в Белом море [11].

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность администрации Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова и Центра выявления и поддержки одаренных детей в Оренбургской области «Гагарин» за содействие в проведении данного исследования. Работа выполнена в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН.

Литература

- [1] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Воронова А.Д. Роль вымораживания рассола из морского льда в формировании вертикальной стратификации в водоемах, отделяющихся от Белого моря // В сб.: Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2013. С. 201-205.
- [2] Краснова Е.Д., Воронова А.Д., Воронов Д.А. Влияние образования льда на формирование вертикальной стратификации в соленых лагунах, отделяющихся от Белого моря // В сб.: Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Международная конференция с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сборник материалов. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2013. С. 168-170.
- [3] Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н. и др. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) в редокс-зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. 2014, 83(3). С. 270-277. DOI: 10.7868/S0026365614030100

- [4] *Краснова Е.Д.* Экология меромиктических озер России. Ч.1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021, 48(3). С. 322-333. DOI: 10.31857/S0321059621030093
- [5] *Саввичев А.С., Лунина О.Н., Русанов И.И. и др.* Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера Кисло-Сладкое – меромиктического водоема на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. 2014, т. 83. С. 191-203. DOI:10.7868/S002636561401011X
- [6] *Саввичев А.С., Кулакова А.А., Краснова Е.Д. и др.* Микробное сообщество морского меромиктического желоба (Бухта Биофильтров), расположенного в Кандалакшском заливе Белого моря // Микробиология. 2022, 91(4). С. 492-506. DOI: 10.31857/S002636562210010X
- [7] *Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., et al.* Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 2015, 95(8). P. 1579-1590. DOI:10.1017/S0025315415000582
- [8] *Krasnova E.D., Matorin D.N., Belevich T.A., et al.* The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // Journal of Oceanology and Limnology. 2018, 36. P. 1962-1977. <https://doi.org/10.1007/s00343-018-7323-2>
- [9] *Mindolina Y.V., Selivanova E.A., Ignatenko M.E., et al.* Taxonomic Composition of Protist Communities in the Coastal Stratified Lake Kislo-Sladkoe (Kandalaksha Bay, White Sea) Revealed by Microscopy // Diversity. 2023, 15 (44). <https://doi.org/10.3390/d15010044>
- [10] *Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Rusanov I.I., et al.* Microbial processes and microbial communities in the water column of the polar meromictic lake Bol'shie Khruslomeny at the White Sea coast // Frontiers in Microbiology. 2020, 11. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01945.
- [11] *Tikhonenkov D.V., Mazei Yu.A., Mylnikov A.P.* Species diversity of heterotrophic flagellates in White Sea littoral sites // European Journal of Protistology. 2006, 42. P. 191-200. DOI:10.1016/j.ejop.2006.05.001
- [12] *Tikhonenkov D.V., Jamy M., Borodina A.S., et al.* On the origin of TSAR: morphology, diversity and phylogeny of Telonemia // Open Biology. 2022, 12. <https://doi.org/10.1098/rsob.210325>

S u m m a r y. The diversity and vertical structure of protist communities in the meromictic lagoon on cape Zeleny located on the coast of the White Sea was studied in 2021 and 2022 using light and scanning electron microscopy. A total of 68 species and unidentified morphotypes of protists were revealed. The species found belong to 9 macrotaxonomic groups of protists: SAR, Excavates, Opisthokonta, Haptista, Cryptista, Obazoa, Amoebozoa, Ancyromonadida and «CRuMs». The largest number of revealed species is assigned to Alveolata, Stramenopiles, Holozoa and Discoba.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ОСАДКАХ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ВОДОЕМОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

И.А. Немировская, Д.Ф. Будько

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, nemir44@mail.ru

ORGANIC COMPOUNDS AND METALS IN SEDIMENTS OF SEPARATED WATER BODIES OF THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

I.A. Nemirovskaya, D.F. Budko

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. Изучение донных осадков отделяющихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря показало, что, несмотря на субарктическое положение, в них образуется большое количество органических соединений, автохтонной и аллохтонной природы. Средние концентрации $C_{орг}$, $N_{общ}$, $S_{общ}$, алифатических углеводородов и полициклических ароматических углеводородов в донных осадках соответственно составили 5.33%, 0.78%, 0.53%, 817 мкг/г и 261 нг/г, что значительно выше по сравнению с открытыми районами Белого моря. Эвтрофирование этих водоемов зависит от их связи с морем.

Ключевые слова: Белое море, Кандалакшский залив, отделяющиеся водоемы, эвтрофикация, донные осадки, органические соединения.

Введение

Отделяющиеся водоемы (меромиктические) – важная составляющая беломорской гидрологической системы [2, 3]. Для приливного Кандалакшского залива с сильно изрезанной береговой линией и котловинами характерно образование таких водоемов. В этих водоемах развивается меромиксия, т.е. расслоение вертикальной структуры водной массы по физико-химическим параметрам. Недостаточное количество кислорода, лимитирующее окисление органического вещества (ОВ), приводит к образованию придонного аноксигенного слоя, обогащенного сероводородом [2, 5]. Поэтому беломорские водоемы могут служить моделью для изучения геохимических циклов, протекающих как в пресноводных, так и соленых аэробных и анаэробных условиях.

С целью изучения особенностей распределения и состава органических соединений ($C_{орг}$, углеводородов, в том числе алифатических – АУВ и полициклических ароматических углеводородов – ПАУ) в сопоставлении с $N_{общ}$ и $S_{общ}$ в донных осадках, летом 2020 г. был проведен отбор проб и их изучение в отделяющихся водоемах Кандалакшского залива Белого моря.

Регион исследований, объекты и методы

Пробы поверхностного слоя (0-5 см) донного осадка отбирали с помощью дночерпателя Экмана-Берджа в сентябре 2020 г., от уреза воды до глубоководной части, затрагивая различные участки меромектической структуры водоемов. Отобранные образцы замораживали (-18°C) для дальнейшей транспортировки в лабораторию. Всего было отобрано 23 пробы осадков.

Общий и органический углерод ($C_{общ}$, $C_{орг}$), а также $N_{общ}$ и $S_{общ}$, в донных осадках определяли на CHNS-O анализаторе. Концентрацию липидов и АУВ определяли методом ИК-спектрофотометрии, содержание и состав алканов – методом газовой хроматографии, ПАУ – флуоресцентным методом, а их состав – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); Для пере-

счета концентраций АУВ в $C_{орг}$ в осадках использовали коэффициент 0.86. Подробности методических процедур описаны в [1].

Результаты и обсуждение

Мелководные морские осадки из губы Круглой и бухты Биофильтров были представлены мелким песком пятнистой структуры бежево-зеленых и серых оттенков. На мелководных станциях отделяющихся водоемов (лагуна Зеленого мыса и оз. Кисло-Сладкое) чаще всего встречался мелкий заиленный песок зелено-коричневых оттенков. В глубоководных частях данных водоемов, а также в озерах Трехцветном и Больших Хрусломенах, наблюдались илистые осадки (доля пелитовой фракции более 93%) черного цвета с запахом сероводорода. В большинстве осадков величина Eh колебалось в интервале отрицательных значений от -12 до -406 мВ, кроме станций на урезе воды в бухте Лобаниха (БЛ-1) и в губе Круглой (КГ-1), где значения Eh достигали +36 и +96 мВ соответственно.

Содержание $C_{орг}$ изменялось в интервале 0.02–23.28%, в среднем составляя 5.33%. В отдельных прибрежных песчаных осадках концентрации $C_{орг}$ понижались до 0.17–0.70%. Интервал величин концентраций был столь велик, что стандартное отклонение ($\sigma=5.52\%$) превысило среднюю величину. Минимальная концентрация установлена в песчаном осадке бухты Биофильтров (ст. ББ), а максимальная – в пелитовом иле оз. Большие Хрусломены (ст. БХ-2 – 23.28%), а повышенные – на ст. БХ-3 (14.57%), а также в осадках Трехцветного оз. (8.52-10.56%), и в оз. Кисло-Сладком на ст. КС-6 (9.81%). При этом среднее содержание $C_{орг}$ для заиленных осадков составило 7.37%, значение σ было также высоким – 5.19%.

Содержание $N_{общ}$ изменялось от 0.044% в песчаных осадках губы Круглой до 10.35% в пелитовом иле с запахом сероводорода на ст. БХ-2 в оз. Большие Хрусломены, где было установлено также максимальное содержание $C_{орг}$. Распределение концентраций $C_{орг}$ и $N_{общ}$ совпадало ($r=0.92$). Между распределением концентраций $C_{орг}$ и $S_{общ}$ также установлена связь: $r=0.89$. Отношение $C_{орг}/S_{общ}$ (были исключены осадки, в которых не было обнаружено $S_{общ}$) изменялось в интервале 5.62-20.3.

Отношение C/N является определяющим критерием для идентификации источника ОВ. Для изученных осадков это отношение изменялось от 0.57 для песчаного осадка в бухте Биофильтров до 10.35 в алевро-пелитовом иле с запахом сероводорода в осадке БХ-1 оз. Большие Хрусломены. Однако в большинстве осадков отношение C/N изменялось в диапазоне 4-6, что характерно для морских осадков [6]. Отношение $C_{орг}/S_{общ}$ отражает формирование осадков в бескислородных условиях придонной воды. В случае осаждения ОВ в морских условиях отношение $C_{орг}/S_{общ}$ обычно не превышает 2.8.

Содержание АУВ в донных осадках также было высоким, и изменялось в интервале 34-3519 мкг/г (рис. 1), в среднем 829 ($\sigma=373$) мкг/г. Между концентрациями $C_{орг}$ и АУВ установлены высокие коэффициенты корреляции, которые для отдельных водоемов колебались в интервале от 0.80 (Кисло-Сладкое оз.) до 0.99 (бухта Лобаниха). Последнее может указывать на одинаковую при-

роду органических соединений. На мелководье установлено повышенное содержание АУВ в составе $C_{орг}$, максимальное – 14,4% в бухте Биофильтров.

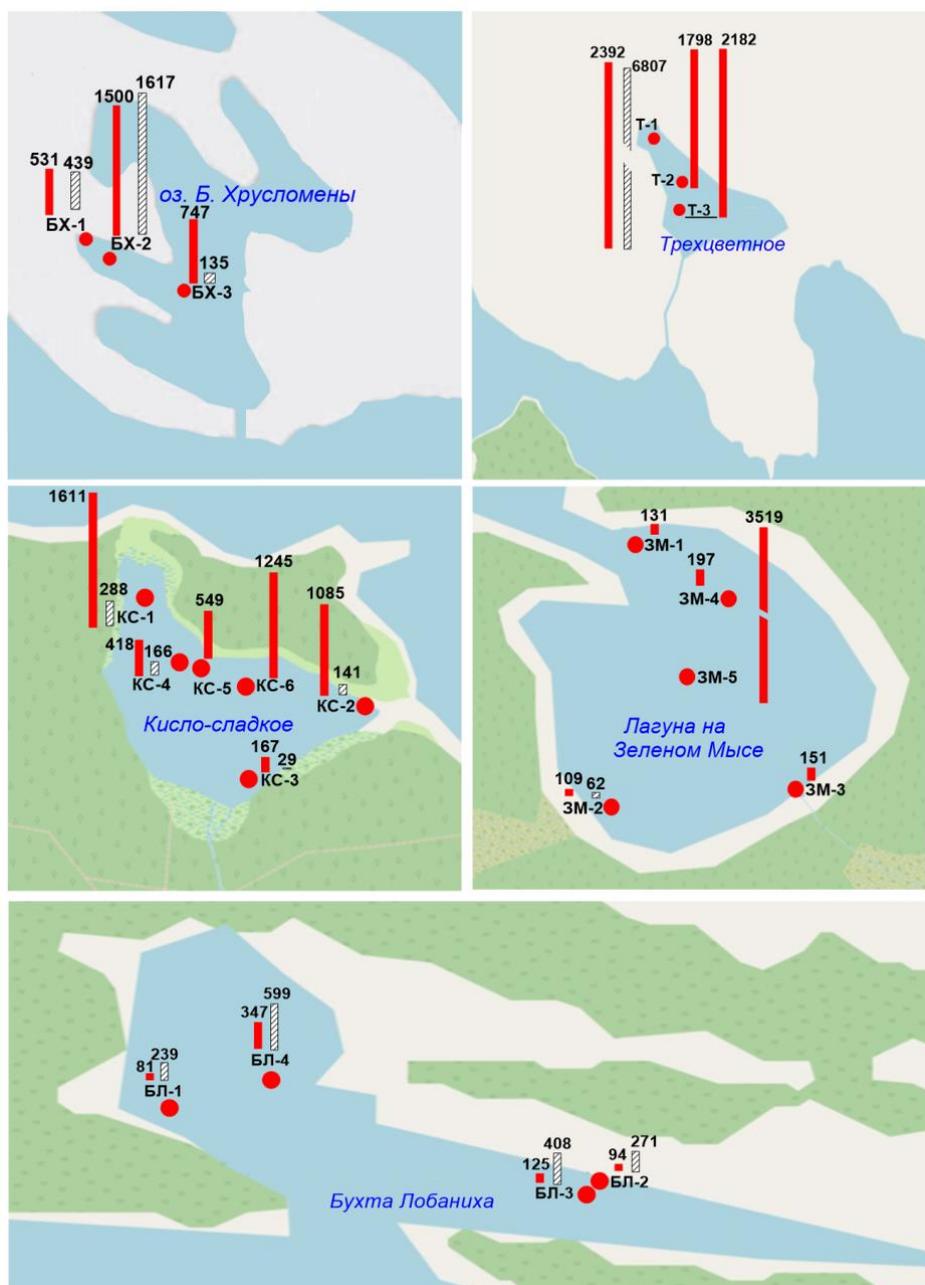


Рис. 1. Содержание АУВ (мкг/г) и ПАУ (нг/г) в верхнем слое донных осадков в различных районах.

Во всех пробах в составе алканов доминировали высокомолекулярные гомологи, что характерно для морских осадков и, в частности, Белого моря [4]. Отношение низко- к высокомолекулярным соединениям (L/H) изменялось в интервале 0.31-0.73, с максимумом в осадке ст. Т-1. При этом индекс нечетности СРІ (отношение нечетных к четным гомологам в высокомолекулярной области) не превышал величины 2.01, что может указывать на низкую степень трансформации АУВ, так как в составе алканов в большей степени разлагаются низкомолекулярные и четные высокомолекулярные гомологи. Последнее подтверждают также пики при $n-C_{16}$, характерные для АУВ, подвергавшиеся микроби-

альному разложению [7]. Минимальная величина пика $n\text{-C}_{16}$ установлена в осадках лагуны Зеленого мыса, а максимальная – в осадках станций Т-1 и Т-2, расположенных в кутовой части оз. Трехцветного (рис. 2) Низкие значения коэффициента изопреноидности ($K_i = \frac{\sum i\text{-C}_{19} + i\text{-C}_{20}}{\sum \text{C}_{17} + \text{C}_{18}}$), которые колебались в интервале 0.30-0.79, также подтверждают слабую трансформацию алканов.

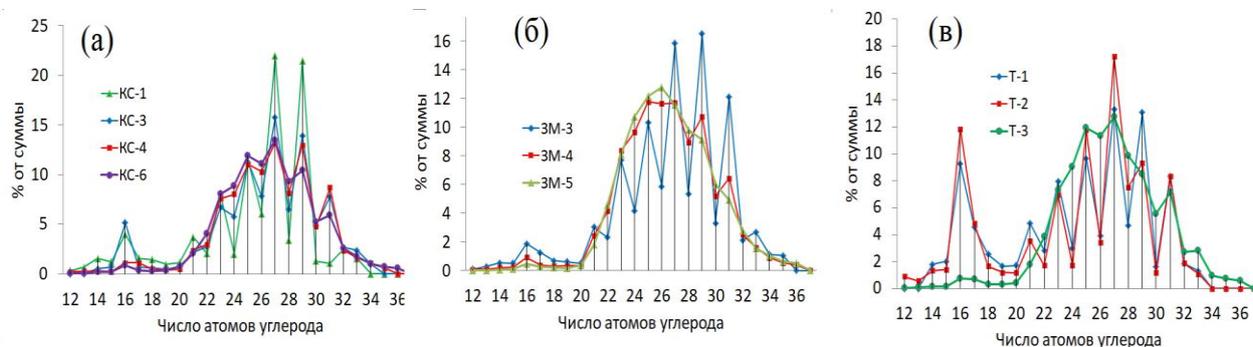


Рис. 2. Распределение n -алканов в ДО отдельных станций.

В отдельных осадках происходило плавное распределение алканов в высокомолекулярной области, и значения $СРІ$ были близки к 1 (пробы: КС-6 – 1.24, ЗМ-4 – 1.21, ЗМ-5 – 1.02, Т-3 – 1.19), что характерно для нефтяных алканов [4]. При этом на ст. КС-6 и ЗМ-5 фитан доминировал над пристаном, что также может свидетельствовать в пользу нефтяного происхождения АУВ, а на станциях Т-1 и Т-2, наоборот, пристан доминировал над фитаном, так как их отношение >1 (1.15, 1.25).

Концентрации ПАУ в донных осадках изменялись в интервале 0–1617 нг/г, с максимумом в пелитовом иле на ст. Т-1, оз. Трехцветного. Между распределением АУВ и ПАУ наблюдалась значимая корреляция ($r=0.75$, $n=14$), слабее связи между распределением $С_{орг}$ и ПАУ, где $r=0.32$. В составе ПАУ доминирует нафталин, что является довольно неожиданным, так как в процессе седиментации этот арен наиболее легко разлагается [8]. Видимо нафталины образуются непосредственно в осадках, что подтверждают более низкое содержание метилированных гомологов и довольно низкая концентрация фенантрена – основного полиарена в природных объектах. Высокомолекулярные полиарены в осадках практически отсутствовали.

Выводы

В отделяющихся озерах высокоширотных районов, несмотря на низкие температуры, происходит образование большого количества органических соединений, которые аккумулируются донными осадками. В зависимости от связи водоемов с морем их концентрации изменялись в широком диапазоне: $С_{орг}$ – 0.02-23.28%, в среднем 5.33%, АУВ – 34-3519 мкг/г, в среднем 817 мкг/г, что превышает фоновые значения в осадках Белого моря для $С_{орг} < 2\%$, а АУВ < 50 мкг/г. Деструкция органических соединений приводит к образованию сероводорода и эвтрофированию вод этих водоемов.

Существующие связи в распределении $С_{орг}$, $N_{общ}$, $S_{общ}$ и АУВ с высокими коэффициентами корреляции ($r=0.80-0.99$) могут указывать на одинаковую

природу этих соединений. Отношение $C_{\text{общ}}/N_{\text{общ}}$, которое в большинстве проб изменялось в диапазоне 4-6, характерно для морских осадков, а отношение $C_{\text{орг}}/S_{\text{общ}}$, которое изменялось в диапазоне 5.62-20.3, отражает формирование осадков в бескислородных условиях.

Молекулярный состав АУВ и ПАУ, отражающий доминирующие источники ОВ, указывает в основном на их природное происхождение. Большая устойчивость УВ, по сравнению с другими органическими соединениями приводит к повышенной их доли в составе $C_{\text{орг}}$ (до 14,41%).

Благодарности

Геохимические исследования проведены в рамках госзадания FMWE-2022-0003, обобщение материалов при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00234-П).

Литература

- [1] Будько Д.Ф., Немировская И.А. Органические соединения и металлы в осадках отделяющихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Геохимия. 2023. Т.61 №2. С.
- [2] Краснова Е.Д. Экология меромиктических озер России. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 3. С. 322-333.
- [3] Лисицын А.П., Васильчук Ю.К., Шевченко В.П. и др. Изотопно-кислородный состав воды и снежно-ледяного покрова отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря // ДАН. 2013. Т.449. №4. С. 467-473.
- [4] Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
- [5] Саввичев А.С., Кадников В. В., Каллистова А. Ю. и др. Фотозависимое окисление метана – важнейший процесс цикла метана в водной толще полярного озера Большие Хрусломены // Микробиология. 2019. Т. 88. № 3. С. 367-371
- [6] Jafarabadi A.R., Bakhtiari A.R., Aliabadian M., Toosi A.S. Spatial distribution and composition of aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and hopanes in superficial sediments of the coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Environ. Poll. 2017. V. 224. P. 195-223.
- [7] Nishumura M., Baker E.W. Possible origin of n-alkanes with remarkable even-to-odd predominance in recent marine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. V. 50. № 2. P. 299-305.
- [8] Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., et. al. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments//Mar. Poll. Bull. 2004. V.48. P. 44-60.

S u m m a r y. The study of the bottom sediments of separating water bodies of the Kandalaksha Bay of the White Sea showed that, despite the subarctic position, a large amount of organic compounds of autochthonous and allochthonous nature is formed in them. The average concentrations of $C_{\text{орг}}$, N_{tot} , S_{tot} , aliphatic hydrocarbons, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the bottom sediments were 5.33%, 0.78%, 0.53%, 817 $\mu\text{g/g}$, and 261 ng/g , respectively, which is significantly higher than in the open areas of the White Sea. The eutrophication of these water bodies depends on their connection to the sea.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМАХ

С.В. Пацаева

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,
spatsaeva@mail.ru*

THE FEATURES OF SPECTROSCOPIC STUDY OF DISSOLVED ORGANIC MATTER IN THE MEROMICTIC WATER BODIES

S.V. Patsaeva

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

Аннотация. По мере отделения меромиктического водоема от моря происходят серьезные изменения физико-химических свойств водоема и структуры водного сообщества, в том числе в составе растворенного органического вещества (РОВ) – соединений, образовавшихся в результате биологического разложения растительных остатков и других органических материалов в водной среде. В работе дается обзор оптических характеристик РОВ, полученных за 10 лет исследований, рассматриваются особенности их получения и интерпретации для меромиктических водоемов Беломорского побережья.

Ключевые слова: прибрежные меромиктические водоемы, гуминовые вещества, оптическая плотность, флуоресценция.

Введение

Гидрологическая особенность меромиктических водоемов Беломорского побережья заключена в своеобразной вертикальной стратификация воды с переходом от поверхностной пресной (или распресненной) воды к соленой воде на глубине. В этих водоемах формируются специфические гидрохимические и гидробиологические условия. По мере отделения от Белого моря происходят серьезные изменения физико-химических свойств водоема и структуры водного сообщества, в том числе в составе растворенного органического вещества (РОВ), образующегося в результате разложения растительных остатков и других биоматериалов в водной среде.

РОВ является важным компонентом природной воды и играет ключевую роль во многих экологических процессах. Окрашенная часть РОВ (chromophoric dissolved organic matter, CDOM) природной воды – это гуминовые вещества. Именно они отвечают за цвет воды и ее оптические свойства. По своей химической природе гуминовые вещества представляют собой высокомолекулярные ароматические оксикарбоновые кислоты. Они могут содержать различные функциональные группы, такие как карбоксильные, фенольные и аминокислотные, способны образовывать водородные связи, активно участвовать в сорбционных процессах, вступать в гидрофобные, ионные и донорно-акцепторные взаимодействия с различными классами органических соединений. Они взаимодействуют с другими компонентами экосистемы, такими как минеральные вещества, микроорганизмы и растения, образуя сложные химические соединения.

Концентрация РОВ в водных системах зависит от многих факторов, включая тип почвы, климатические условия, гидрологический режим, наличие растительности и присутствие микроорганизмов. Для изучения РОВ природной воды при-

меняют спектрально-оптические методы: спектроскопию поглощения и люминесцентную спектроскопию. Оптическая плотность гуминовых веществ – это параметр, который используется для оценки количества гуминовых веществ в природных водах. Поскольку РОВ природного происхождения из-за наличия гуминовых соединений хорошо поглощает УФ свет и люминесцирует, его флуоресценция с успехом используется при его изучении. Преимущества спектроскопических методов заключаются в том, что они не требуют предварительной обработки проб воды и позволяют измерять характеристики воды в дистанционном режиме.

Целью данной работы является обзор оптических характеристик РОВ, полученных в многолетних исследованиях меромиктических водоемов [1-3, 5-7].

Объекты и методы

Спектроскопические исследования проводили для проб воды из прибрежных стратифицированных водоемов, находящихся на разной степени изоляции от Белого моря, а также из ближайших к ББС МГУ пресных озер: Водопроводного и Верхнего. Спектры поглощения в диапазоне от 200 до 900 нм измеряли с помощью спектрофотометра Solar PV2201 в кварцевых кюветах с длиной оптического хода от 1 до 5 см. Длинные кюветы обеспечивают более точные измерения для проб воды с низким содержанием РОВ, но требуют большего объема образца. В дальнейшем оптические плотности приводили к оптической плотности при 1 см. Спектры испускания флуоресценции регистрировали на флуориметре Solar SM2203 в кварцевых кюветах для флуориметрии при возбуждении светом с длиной волны, менявшейся в диапазоне от 240 до 500 нм, особое внимание уделяли регистрации спектров испускания с возбуждением на длинах волн 270, 310 и 355 нм. Расчет квантового выхода флуоресценции проводили методом эталонного соединения, примененного ранее для проб природной воды [5].

Результаты: Спектральные свойства РОВ

Спектры поглощения РОВ показаны на рисунке 1 на примере фильтрованной (0,22 мкм) и нефильтрованной поверхностной воды из нескольких озер Беломорского побережья и, для сравнения, воды Онежского озера.

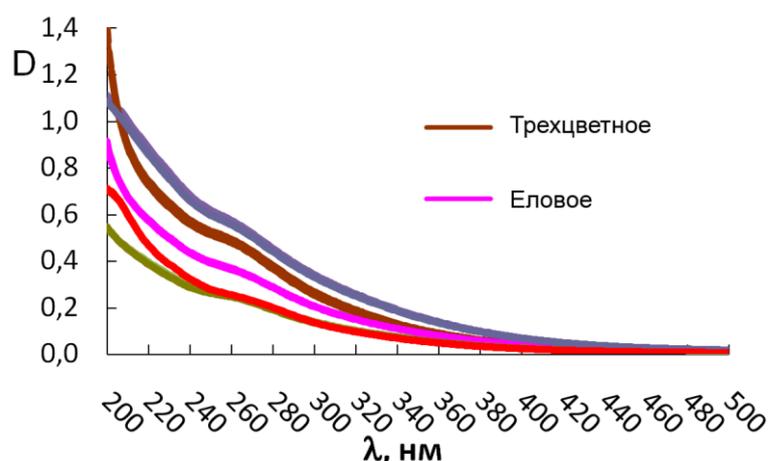


Рис. 1. Спектры поглощения света природной водой из разных водоемов, до и после фильтрации (соответственно, сплошная линия и пунктир).

Спектр поглощения представляет собой монотонно спадающую зависимость оптической плотности от длины волны без ярко выраженных пиков поглощения. При длине волны около 270 нм наблюдается «перегиб», обусловленный поглощением фенольных или индольных групп в составе РОВ [3, 6]. Оптическая плотность в УФ диапазоне отражает концентрацию гуминовых веществ – чем выше концентрация гуминовых веществ в воде, тем больше оптическая плотность. Чаще всего для количественной оценки РОВ используют оптическую плотность на длине волны 350 нм (D350).

Однако оптическая плотность зависит не только от концентрации, но и от типа РОВ природной воды. Спектры поглощения РОВ могут отличаться формой спектральной кривой, поэтому для характеристики типа РОВ используют отношения оптических плотностей на разных длинах волн или наклон спектральной кривой оптической плотности в определенном спектральном диапазоне. Рисунок 2 показывает области спектра, в которых происходит вычисление наклона спектра поглощения.

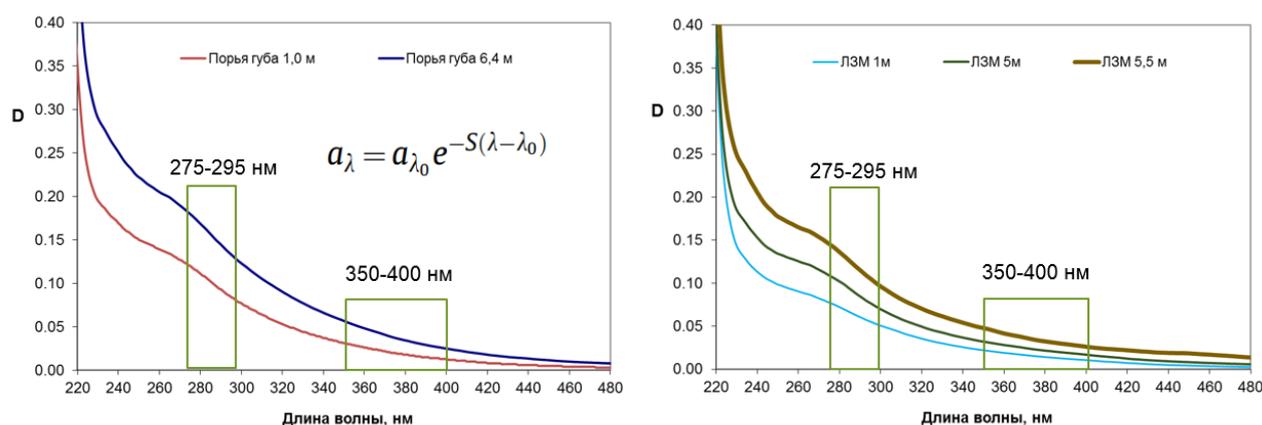


Рис. 2. Спектры поглощения света природной водой с разных горизонтов водоемов Порья губа и Лагуна на Зеленом мысе.

Отношение величины наклона (SR, Slope ratio) на двух участках спектра для РОВ воды Лагуны на Зеленом мысе равно $1,0 \div 1,2$ (в зависимости от глубины), а для Порьей губы $SR \approx 0,7$, что говорит о разном типе РОВ в этих водоемах [1]. Для Трехцветного и Елового озера $SR \approx 0,9$ на горизонтах выше хемоклина, что говорит о континентальном происхождении РОВ в миксолимнионе этих двух озер и в реликтовом водоеме в восточной части Порьей губы (как в поверхностной воде, так и на глубине 6,4 м).

Спектр флуоресценции РОВ при УФ возбуждении состоит из двух перекрывающихся полос: менее интенсивной полосы с максимумом испускания в диапазоне 300-350 нм, обусловленной свечением ароматических аминокислот и фенольных соединений, и более интенсивной флуоресценции гуминовых веществ в синей области [5]. В спектрах флуоресценции нефилтрованной воды может проявляться УФ флуоресценция клеток микроорганизмов. Максимум флуоресценции гуминовых веществ зависит от длины волны возбуждения: при ее увеличении от 270 до 310 нм максимум полосы испускания смещается в сторону более коротких длин волн («синий сдвиг» флуоресценции), а при последующем увеличении дли-

ны волны возбуждения длина волны максимума полосы монотонно растет. Величина «синего сдвига» зависит от типа природной воды и может характеризовать гуминовые соединения в составе РОВ. Спектры флуоресценции различных типов природной воды отличаются также значениями квантового выхода флуоресценции и его зависимостью от длины волны возбуждающего излучения [4, 5].

Обсуждение: Оптические маркеры РОВ в меромиктических водоемах

В меромиктических водоемах спектральные характеристики РОВ меняются по мере увеличения глубины отбора пробы. В зоне ветрового перемешивания воды в беломорских водоемах обычно наблюдается смешивание пресной воды континентального происхождения (болотная торфяная вода) с высоким содержанием гуминовых веществ и соленой морской воды с низким содержанием РОВ, поэтому для большинства меромиктических водоемов наблюдается обратная зависимость оптической плотности РОВ в УФ диапазоне (например, D350) от солености приповерхностной воды. Похожие зависимости D350 от солености наблюдались в зоне впадения Северной Двины в Белое море [4]. Пресная континентальная вода и морская вода отличаются как по оптическим индексам (например, величине SR), так и по спектрам флуоресценции (положению максимума испускания, величине квантового выхода флуоресценции), поэтому в миксолимнионе по мере увеличения глубины наблюдается изменение спектроскопических характеристик, типичных для пресной воды, богатой гуминовыми веществами, в сторону характеристик РОВ морского происхождения [2, 7]. В зоне хемоклина наблюдаются признаки появления РОВ автохтонного происхождения: повышенные значения квантового выхода флуоресценции (2.5÷3%), УФ полоса флуоресценции для фильтрованных проб, более четкий перегиб на спектре поглощения в области 270 нм, а для некоторых проб из зоны массового развития фототрофных бактерий – полоса поглощения каротиноидов в фильтрованной воде. Далее концентрация РОВ растет с глубиной и достигает максимума в придонной воде. Это связано с большой микробной биомассой придонных вод и донных осадков, являющейся источником образования РОВ. Кроме того, спектрально-люминесцентные свойства РОВ меняются при смене окислительно-восстановительных условий.

Заключение

Спектральными характеристиками РОВ (оптическими маркерами) могут служить величина «синего сдвига» спектров испускания, величина квантового выхода флуоресценции, отношения оптических плотностей на разных длинах волн, наклон спектральной кривой спектра поглощения. Они могут быть использованы для количественного и качественного описания РОВ природной воды меромиктических водоемов. Отделяющиеся озера на разных стадиях изоляции от моря могут стать модельным объектом для фундаментальных комплексных исследований РОВ природной воды, в том числе спектральными методами.

Благодарности

Благодарю юных коллег с физического факультета МГУ за их неиссякаемый энтузиазм и помощь в измерении спектров. Выражаю огромную призна-

тельность Руководству ББС МГУ за всестороннюю поддержку экспедиций. Особая благодарность Елене Дмитриевне Красновой, душе меромиктического научного семинара, и Дмитрию Анатольевичу Воронову, организатору полевых работ, изобретателю и вдохновителю новых идей.

Литература

- [1] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Фролова Н.Л., Василенко А.Н., Ефимов В.А., Ефимова Л.Е., Кокрятская Н.М., Лосюк Г.Н., Пацаева С.В. Реликтовый водоем в Порьей губе (Белое море, Кандалакшский залив): что изменилось за последние 90 лет? // Изв. РАН. Серия географическая. 2022, т. 86, № 6. С. 972-984.
- [2] Пацаева С.В., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Спектрально-оптические свойства растворенного органического вещества меромиктических водоемов Белого моря // География: развитие науки и образования. Т. I. Коллект. монография по мат-лам ежегодной межд. науч.-практ. конф. LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 г. СПб: Астерион, Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 329-333.
- [3] Хунджуга Д.А., Пацаева С.В., Трубецкой О.А., Трубецкая О.Е. Анализ растворенного органического вещества пресноводных озер Карелии обратно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографией с одновременной регистрацией оптической плотности и флуоресценции // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. 2017, № 1. С. 66-73.
- [4] Drozdova A.N., Kravchishina M.D., Khundzhua D.A., Freidkin M.P., Patsaeva S.V. Fluorescence quantum yield of CDOM in coastal zones of the Arctic seas. Intern. J. Remote Sensing. 2018, v. 39, no.24. P. 9356-9379.
- [5] Patsaeva S., Khundzhua D., Trubetskoj O.A., Trubetskaya O.E. Excitation-dependent fluorescence quantum yield for freshwater chromophoric dissolved organic matter from northern Russian lakes // J. Spectroscopy. 2018, v. 2018, N 3168320. P. 1-7.
- [6] Trubetskaya O.E., Richard C., Patsaeva S.V., Trubetskoj O.A. Evaluation of aliphatic/aromatic compounds and fluorophores in dissolved organic matter of contrasting natural waters by SEC-HPLC with multi-wavelength absorbance and fluorescence detections // Spectrochim. Acta - Part A. 2020, v.238, N5. P. 118450-118450.
- [7] Zhiltsova A.A., Krasnova E.D., Voronov D.A., Trubetskaya O.E., Trubetskoj O.A., Khundzhua D.A., Patsaeva S.V. Optical properties of humic substances in the coastal waters of the White Sea based on the results of 2020 expeditions // Proc. SPIE. 2021, v. 11845. P. 118450G.

S u m m a r y. As a meromictic reservoir separates from the sea, serious changes occur in the physicochemical properties of the waterbody and the structure of the aquatic community, including the composition of chromophoric dissolved organic matter (CDOM), compounds formed as a result of the biological decomposition of plant residues and other organic materials in the aquatic environment. The purpose of this work is to review the optical characteristics of CDOM obtained within 10 years, the features of their measurement and interpretation for the meromictic water bodies isolated from the White Sea.

СОСТАВ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ЛАГУН НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ В СЕНТЯБРЕ 2022 г.

Ю.Ю. Полунина¹, Е.Д. Краснова², Д.А. Воронов³

¹ИО РАН, г. Москва, jul_polunina@mail.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e_d_krasnova@mail.ru

³ИППИ РАН, г. Москва, da_voronov@mail.ru

THE COMPOSITION AND VERTICAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN THE STRATIFIED LAGOONS ON THE WHITE SEA COAST IN SEPTEMBER 2022

Ju.Ju. Polunina¹, E.D. Krasnova², D.A. Voronov³

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

²Lomonosov Moscow State University, Moscow

³Institute for Information Transmitting Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow

Аннотация. Выявлены особенности состава, структуры и количественных показателей зоопланктона четырех стратифицированных водоемов, расположенных на побережье Белого моря в сентябре 2022 г. В зависимости от степени изоляции от моря и вариаций солености водоемов изменялось число видов, их вертикальное распределение и численность всего зоопланктона. Отмечен рост общей численности зоопланктона при усилении изоляции водоема от моря.

Ключевые слова: стратифицированные лагуны, зоопланктон, вертикальное распределение, Белое море.

Введение

На побережье Белого моря из-за послеледникового поднятия берега образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от моря. Одно из следствий изоляции – формирование в этих водоемах круглогодичной вертикальной стратификации. В нижней части таких водоемов сохраняется морская вода, а в верхней – в разной степени опресненная. Вертикальная структура водоемов состоит обычно из пяти слоев: верхнего опресненного, слоя скачка плотности (пикноклина), и соленого слоя, который подразделен на верхний аэробный и нижний анаэробный с хемоклином между ними. Каждый слой обладает специфическими физико-химическими характеристиками и биотой. Зоопланктон в таких водоемах имеет выраженную приуроченность к определенному слою воды по видовому составу и количественным показателям.

В беломорских отделяющихся водоемах зоопланктон изучен фрагментарно. Исследование зоопланктона двух таких водоемов по однократно отобраным тотальным пробам показало его низкое разнообразие и набор эвригалинных видов, характерных для поверхностных слоев Кандалакшского залива [4]. В последующих работах были выявлены отличия видового состава и вертикальной неоднородности зоопланктона водоемах на разных стадиях изоляции от моря. Выяснилось, что важным фактором вертикальной неоднородности зоопланктона служит хемоклин, возле которого концентрируются некоторые виды, привлекаемые высокопродуктивным сообществом микроорганизмов с аноксигенными фототрофами и цветением одноклеточных водорослей. Были обнаружены формы, которые обитают преимущественно или исключительно в

хемоклине, в их числе морские виды коловраток из рода *Synchaeta* и личинки полихет *Polydora cf. ciliata* [1, 2]. Однако сведений о фаунистическом составе, особенностям вертикального распределения отдельных групп и видов зоопланктона в стратифицированных водоемах, находящихся на разной степени изоляции от Белого моря, недостаточно. Цель работы – выявить особенности состава и вертикального распределения зоопланктона в четырех прибрежных меромиктических водоемах с придонной аноксией на побережье Белого моря.

Материалы и методы

Материалы отобраны в четырёх стратифицированных водоемах в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова в сентябре 2022 г.: в ковшовой бухте Биофильтров, морской лагуне на Зеленом Мысе (ЛЗМ), лагуне под названием «озеро Кисло-Сладкое» и в оз. Еловое. Водоемы перечислены в порядке усиления изоляции от моря. Они различаются глубиной, соленостью поверхностного слоя воды и диапазоном ее сезонной изменчивости.

Перед отбором проб зоопланктона были определены физико-химические характеристики основных слоев воды и положение границ между ними. Кондуктометром-зондом YSI Pro измеряли температуру, соленость и окислительно-восстановительный потенциал на разной глубине; зондом-оксиметром YSI Pro ODO определяли концентрацию растворенного кислорода. Измерения проводили с шагом по вертикали 0,5 м, в зоне хемоклина – с шагом 0,1 м. В морской бухте измерения проводили через 1,0 м, а в градиентной зоне через 0,25 м.

Пробы зоопланктона отбирали в максимально глубокой точке водоемов двумя способами. 1) Насосом Whale Premium Submersible Pump GP1352 с размеченным кабелем. Интервалы между горизонтами отбора проб соответствовали таковым при гидрологических измерениях. 2) Малой сетью Джели ($d=14$ см, ячей 100 мкм) с замыкателем. Облавливали крупные слои – поверхностный слой (верхний квазиоднородный слой – ВКС); слой термоклина; слой ниже начала галоклина. Пробы фиксировали, обрабатывали по стандартным методикам [3].

Результаты и обсуждение

Некоторые гидрологические показатели водоемов в период наших исследований приведены в таблице 1.

Зоопланктон четырех водоемов был представлен 28 видами и таксонами более крупного порядка, из которых Rotifera – 13, Copepoda – 12, Cladocera – 3. В меропланктоне отмечены личинки брюхоногих, двустворчатых моллюсков и полихет. Коловратки были представлены преимущественно пресноводными видами, отмечены несколько родов, обитающих в условиях повышенной солености: *Synchaeta*, *Colurella*, *Dicranophorus* и вид *Brachionus plicatilis*. В группе веслоногих ракообразных преобладали морские виды калянид и циклопов. Наиболее низкое разнообразие было у кладоцер – отмечен пресноводный вид *Bosmina longirostris* (O.F.Muller, 1776) и два широко распространенных в Голарктике морских вида *Evadne nordmanni* Lovén, 1836 и *Podon leuckartii* Sars 1862.

Таблица 1. Некоторые гидрологические показатели стратифицированных лагун Белого моря, сентябрь 2022 г.

Водоемы / Показатели	Еловое	Кисло-Сладкое	ЛЗМ	бухта Биофильтров
Глубина, м	5,5	4,5	6,5	16
Т воды °С; min/ max	9,0/16,0	9,7/14,4	11,1/13,5	8,5/1,9
Соленость в ВКС, psu	0,3-17,7	20-21	23,2-23,9	23,8-24,9
Соленость у дна, psu	21,7	22,4	26,2	24,5
Хемоклин, м	3,0	3,5	5,2	8,5
Периодичность забросов воды из моря	Несколько десятилетий	Ежемесячная	На максимуме каждого прилива	Не изолирована

Состав и структура зоопланктона водоемов различались и во многом были обусловлены разными соленостными условиями водоемов и степенью изоляции от вод Кандалакшского залива.

Озеро Еловое, где в поверхностном слое вода была почти пресная, а ниже глубины 2 м соленость воды возрастала и у дна достигла почти 22 psu (табл.1), разнообразие зоопланктона было высоким – 18 видов. Здесь было отмечено максимальное число видов коловраток – 11, при этом в пробах, отобранных насосным методом, присутствовали все эти виды, а сетным методом – только четыре вида. Все коловратки были пресноводными, за исключением солоноватоводных *Brachionus plicatilis* и рода *Synchaeta*. Веслоногие рачки были представлены пятью видами и выявлены в пробах, отобранных обоими методами. Здесь отмечен только один вид кладоцер *Bosmina longirostris*. В поверхностном слое этого водоема (0,0-1,0 м) комплекс доминирующих видов: *Keratella quadrata* (O.F.Muller), *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880), *Bosmina longirostris*; здесь отмечена максимальная численность зоопланктона – почти 30 тыс. экз./м³, с глубиной численность снижалась и на горизонте 2,0-3,0 м была всего 0,4 тыс. экз./м³. Начиная с глубины 1,5 м состав зоопланктона менялся: стала доминировать солоноватоводная коловратка *Brachionus plicatilis*, а среди ракообразных – науплии *Acartia* и *Temora*. Численность *Acartia bifilosa* возрастала по направлению к хемоклину.

Оз. Кисло-Сладкое при небольшой глубине и диапазоне солености 20,0-22,4 psu отличалось минимальным разнообразием зоопланктона – всего 8 видов. В поверхностном слое доминировали ювенильные стадии *Acartia*, в более глубоких слоях ювенильные стадии и взрослые особи *Acartia bifilosa* (Giesbrecht, 1881), а также *Acartia tonsa* Dana, 1849, которая считается чужеродным видом в водах европейских морей. Наличие *A. tonsa* является необычной находкой для вод Белого моря. Видовая идентификация подтверждена фотографиями общего вида и V пары ног самки. Однако требуются дополнительные исследования и отбор проб в другие сезоны года для анализа встречаемости и статуса популяции *A. tonsa*. Общая численность зоопланктона изменялась по вертикали: минимальные показатели отмечены в поверхностном слое (0-1,5 м) – всего около 2 тыс. экз./м³, а в промежуточном слое (1,5-2,5 м) и слое ниже начала галоклина (2,5-3,5 м) численность возросла почти в 20 раз.

Поверхностные воды лагуны на Зеленом Мысе и бухты Биофильтров имели сходные показатели солености, соответствующие таковой в прилегающей морской акватории – 23,2-24,9 psu. Зоопланктон этих водоемов был представлен 15 и 12 видами, соответственно. Комплекс доминирующих видов имел некоторые отличия. В ЛЗМ доминировали морские каляниды *A. bifilosa*, *Temora longicornis* (Müller O.F., 1785), циклоп *Oithona similis* Claus, 1866 и личинки полихет. В бухте Биофильтров массовыми видами были каляниды *A. bifilosa*, *Acartia longiremis* (Lilljeborg, 1853), циклопы *O. similis*, *Oncaea borealis* Sars G.O., 1918. По сравнению с ЛЗМ здесь были более многочисленны копепоидиты рода *Pseudocalanus* и морская гарпактицида *Microsetella norvegica* (Boeck, 1865). В целом, фаунистический состав зоопланктона бухты Биофильтров имел более морской облик, чем в ЛЗМ.

Вертикальное распределение зоопланктона в этих двух водоемах существенно различалось. В поверхностном слое ЛЗМ (0,0-3,0 м) по данным сетных ловов численность зоопланктона составляла почти 3 тыс. экз./м³, при этом 86% всей численности составляли личинки полихет, являющиеся временным компонентом зоопланктона. Ниже, в слое (3,0-5,0 м) общая численность зоопланктона возросла до 8,4 тыс. экз./м³, здесь отсутствовали личинки полихет, а основу сообщества составляли веслоногие рачки. В бухте Биофильтров вертикальное распределение зоопланктона имело противоположное направление по данным сетных проб. В поверхностном слое (0,0-4,0 м) численность зоопланктона достигала 8 тыс. экз./м³, а в более глубоком слое (4,0-6,0 м) была почти в два раза меньше – 4,4 тыс. экз./м³, при этом структура сообщества была схожей, но в поверхностном слое преобладали ювенильные стадии веслоногих ракообразных, а в более глубоком – половозрелые особи.

При отборе проб насосом благодаря его точному позиционированию на конкретной глубине были выявлены особенности детального вертикального распределения зоопланктона. В каждом водоеме структура и количество зоопланктона менялись по глубине: число особей отдельных видов возрастало или уменьшалась с глубиной, но в целом, отражало тенденцию, выявленную при отборе проб сетью.

Численность зоопланктона, рассчитанная в столбе воды в каждом водоеме, убывала в ряду: оз. Кисло-Сладкое (23,8 тыс.экз./м³) → Еловое (10,3 тыс.экз./м³) → Бухта Биофильтров (6,6 тыс.экз./м³) → ЛЗМ (5,1 тыс.экз./м³) и в целом возрастала при изоляции водоема. Однако, для подтверждения выявленной тенденции требуется анализ материала, собранного и в другие сезоны года.

Сравнение наших данных с предыдущими исследованиями показало, что в озере Кисло-Сладкое и ЛЗМ в августе 2001 г. общая численность в столбе воды составляла около 1 и 6 тыс. экз./м³ соответственно [4], что существенно ниже, чем в нашем исследовании. Это иллюстрирует значительную изменчивость количественных показателей зоопланктона полужамкнутых акваторий.

Таким образом, исследуемые стратифицированные водоемы имели существенные различия состава, структуры, вертикального распределения и количественных показателей зоопланктона в сентябре 2022 г. Минимальное разнооб-

разие зоопланктона отмечено в оз. Кисло-Сладкое (8 видов), а максимальное – в озере Еловое (18 видов), в ЛЗМ и бухте Биофильтров зоопланктон был схож по составу и числу видов (15 и 12 видов соответственно). Максимальная численность зоопланктона в столбе воды выявлена в оз. Кисло-Сладкое, минимальная – в ЛЗМ. Однако при отборе проб насосом, более дробном, количественные показатели существенно различались по глубине. В поверхностном слое максимум численности зоопланктона был отмечен в опресненном озере Еловое (29,8 тыс. экз./м³), и с глубиной она снижалась. Такая же тенденция наблюдалась в бухте Биофильтров, а у хемоклина (7 м) 17% численности зоопланктона составляли личинки полихет Spionidae. В оз. Кисло-Сладкое и ЛЗМ общая численность зоопланктона возрастала с глубиной.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной темы «Разнообразие, структура и функционирование морских и прибрежных экосистем» номер ЦИТИС 121032500077-8 и госзадания ИОРАН FMWE-2021-0007.

Литература

- [1] *Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Влияние хемоклина на вертикальную неоднородность зоопланктона в прибрежных стратифицированных водоемах, отделившихся от Белого моря // Тр. X Межд. науч.-практ. конф. MARESEDU-2021. Т. 2. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2022 (а). С. 82-86.
- [2] *Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Новое экологическое сообщество в хемоклине беломорских эвксинных бухт // Тр. XI Межд. науч.-практ. конф. MARESEDU-2021. Т. 3. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2022 (б). С. 81-84.
- [3] Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидро-биологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. А.А. Салазкина, М.Б. Ивановой, В.А. Огородникова. Л.: Гос. НИИ озерного и речного рыбного х-ва, 1984. 33 с.
- [4] *Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М.* Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005, т. 12, №5. С. 517-532.

S u m m a r y. Composition, structure, and abundance of zooplankton in four coastal stratified water bodies partly separated from the White Sea were studied in September 2022. The number of species, their vertical distribution, and the abundance of zooplankton depend on salinity and the degree of isolation of the water body from the sea. In the surface zone total number of zooplankton increases with the increased isolation.

ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС И ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ТРОФНОСТИ ОЗЁР Г. МУРМАНСКА

М.А. Постевая^{1,2}, В.А. Даувальтер¹, З.И. Слуковский¹, Д.Б. Денисов¹

¹*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольский НЦ РАН, Апатиты, marina04111994@gmail.com*

²*Мурманский арктический государственный университет, Мурманск*

TROPIC STATUS AND LIMITING FACTORS OF LAKES TROPHICITY IN MURMANSK

M.A. Postevaya^{1,2}, V.A. Dauvalter¹, Z.I. Slukovskii¹, D.B. Denisov¹

¹*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Center RAS, Apatity*

²*Murmansk Arctic State University, Murmansk*

Аннотация. В работе представлены результаты оценки трофического состояния 8 озер г. Мурманска, находящиеся под антропогенной нагрузкой различной интенсивности. Для оценки трофического статуса исследуемых озер использовались индексы трофического состояния, разработанные Карлсоном, Кратцером и Брезоником, Дунальской. Исследование проводилось в период 2018-2022 гг. Согласно индексу трофического состояния большинство исследуемых озер относятся к водоемам олиготрофного типа. Исключение составляет оз. Ледовое, которое характеризуется как мезотрофный водоем. Выявлено, что лимитирующим биогенным элементом развития фитопланктона во всех исследуемых озерах является фосфор. Органическое вещество в озерах г. Мурманска представлено как автохтонным, так и аллохтонным происхождением.

Ключевые слова: трофический статус, индекс Карлсона, автохтонное и аллохтонное органическое вещество, городские озера, Мурманская область.

Введение

Во всем мире довольно остро стоит проблема эвтрофикации водных экосистем, особенно на урбанизированных и сельскохозяйственных территориях. Эвтрофированием называют процесс обогащения вод биогенными веществами, прежде всего азотом и фосфором, которые стимулируют первичную продукцию и ярко проявляются в «цветении» водорослей и увеличении развития макрофитов [14]. При этом происходит накопление первичного (фотосинтезируемого) органического вещества вследствие преобладания скорости образования органических веществ (продукции) над скоростью их разложения (деструкции) [2]. «Цветение» водорослей ухудшает качество воды, способствует образованию гипоксии в водоемах, поступлению вторичных метаболитов, токсично влияющих на водные организмы. А также нарушает структуру биоценозов и приводит к исчезновению многих видов гидробионтов [5, 6]. В конечном итоге озера теряют свою хозяйственную и рекреационную привлекательность. Таким образом, трофический статус является важным критерием для оценки экологического состояния озер. Цель работы – оценить трофическое состояние и определить лимитирующие факторы трофности в озерах г. Мурманска.

Объекты и методы

Объектами исследования послужили 8 озер г. Мурманска, находящиеся под антропогенной нагрузкой различной интенсивности. Отбор проб производился в период 2018-2022 гг. Пробы воды для гидрохимического анализа отбирались с поверхностного и придонного слоя 2-х литровым пластиковым бато-

метром. Химический анализ проб воды проводился в центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН по единым методикам [13]. Отбор и анализ проб на содержание хлорофилла «а» был осуществлен стандартными, общепринятыми в гидробиологической практике методами, по схеме, принятой в ИППЭС КНЦ РАН [1]. Оценка трофического статуса исследуемых озер осуществлялась по индексам трофического состояния, разработанные Карлсоном, Кратзером и Брезоником, Дунальской. Расчеты производились по следующим параметрам: концентрация хлорофилла «а», общего фосфора, общего азота и общего органического углерода. Методы расчета величин TSI подробно описаны в работах [7, 8, 10]. Согласно шкале Р. Карлсона олиготрофному состоянию водоема соответствует величина TSI <40, мезотрофному TSI = 40-50, эвтрофному – от 50 до 70, а гипертрофному > 70.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены медианные значения гидрохимического анализа воды и содержания хлорофилла «а» в озерах г. Мурманска, на основе которых производился расчет индекса трофического состояния.

Таблица 1. Медианные значения содержания хлорофилла «а» (Chl«а»), общего фосфора (TP), общего азота (TN), общего органического углерода (TOC), величин соотношения TN/TP и TOC/N_{орг} в озерах г. Мурманска

Озера	Chl «а», мг/л	TP, мкгP/л	TN, мкгN/л	TOC, мг/л	TN/TP	TOC/N _{орг}
Северное	2,05	14,0	374	6,1	26	25
Семеновское	8,01	25,5	501,5	5,2	18	19
Среднее	2,75	11,0	301	4,3	28	24
Большое	1,96	8,0	150	6,1	19	42
Окуновое	1,50	15,0	289	9,1	20	37
Ледовое	26,84	451	3550	8,1	8	14
Треугольное	2,01	16,5	295	9,1	17	38
Южное	1,84	19,0	277	6,1	15	25

Согласно полученным результатам (табл. 2), все исследуемые озера относятся к водоемам олиготрофного типа. Кроме оз. Ледовое, для которого среднее значение индекса TSI равно 46, что соответствует статусу мезотрофное. Оз. Ледовое является самым загрязненным из исследуемых озер. Среди олиготрофных озер наибольшие значения индекса TSI характерны для оз. Семеновское, что возможно связано с высокой рекреационной нагрузкой на водоем, близостью автомобильных дорог, а также с поступлением сточных вод местного океанариума, расположенного на берегу озера. Значения трофических индексов, рассчитанных по показателям качества воды, довольно переменчивые и изменяются от олиготрофного до эвтрофного типа. Наиболее высокие значения приходятся на индекс, рассчитанный на основе общего азота. Наиболее низкие значения характерны для индекса, рассчитанного по концентрации общего фосфора. Данные отклонения между индексами позволяют сделать вывод о том, что лимитирующим биогенным элементом развития фитопланктона является фосфор [4].

Таблица 2. Средние значения индекса трофического состояния озер г. Мурманска

Озера	TSI (Chla)	TSI (TP)	TSI (TN)	TSI (TOC)	TSI	Трофический статус
Северное	34	21	48	33	34	Олиготрофное
Семеновское	39	24	50	32	36	Олиготрофное
Среднее	35	19	47	30	33	Олиготрофное
Большое	34	17	43	33	32	Олиготрофное
Окуневое	32	21	47	36	34	Олиготрофное
Ледовое	45	42	62	35	46	Мезотрофное
Треугольное	32	22	47	36	34	Олиготрофное
Южное	33	23	46	33	34	Олиготрофное

Еще одним количественным критерием, позволяющим выявить лимитирующий биогенный элемент развития фитопланктона в природных водах, является соотношение концентраций TN/TP. При величине отношения $TN/TP < 10$ лимитирует азот, а при величине $TN/TP > 17$ – фосфор [12]. В пресноводных экосистемах TP считается основным ограничивающим фактором развития фитопланктонных организмов [11]. Полученные значения TN/TP (Таблица 1) свидетельствуют о том, что в большинстве исследуемых озер лимитирует фосфор. В оз. Ледовое первичная продукция ограничивается азотом. Была установлена тенденция к снижению соотношения TN/TP в озерах с высокой концентрацией хлорофилла [15]. В период вегетации, особенно на поздней стадии, стареющие водоросли становятся важным источником ТОС для бактериальных организмов. Что способствует увеличению потенциальной скорости денитрификации, приводящей к дефициту азота в более продуктивных озерах [6]. Оз. Треугольное и Южное характеризуются оптимальными условиями для развития фитопланктона.

Величина отношения TN/TP может зависеть от соотношения аллохтонного и автохтонного органического вещества. В олиготрофных озерах преобладает аллохтонное органическое вещество, поступающее с поверхностным стоком с водосборных территорий. В эвтрофных водоемах за счет повышенной продуктивности фитопланктона происходит накопление автохтонного органического вещества, обогащенного азотом [9]. Природу органического вещества в поверхностных водах можно определить по величине соотношения органического углерода к органическому азоту ($TOC/N_{орг}$). Так, при величине соотношения $TOC/N_{орг}$ равной 12 в водоеме преобладает органическое вещество автохтонного происхождения. Если же данная величина больше 47, то органическое вещество представлено аллохтонным происхождением [3]. В исследуемых озерах органическое вещество представлено как автохтонным, так и аллохтонным типами. Диапазон отношения $TOC/N_{орг}$ находился в пределах от 14 до 38 ед. Наименьшие значения отмечались в водах оз. Ледовое (14 ед.) и оз. Семеновское (19 ед.), что указывает на увеличение доли автохтонного органического вещества. Накопление аллохтонного органического вещества больше в озерах

Большое, Окуновое и Треугольное, расположенных в естественных лесных зонах г. Мурманска.

Выводы

Согласно индексу трофического состояния большинство исследуемых озер относятся к водоемам олиготрофного типа. Исключение составляет оз. Ледовое, которое характеризуется как мезотрофный водоем и является самым загрязненным из всех исследуемых озер. Среди олиготрофных озер наибольшие значения индекса TSI характерны для оз. Семеновское.

На основании отклонений между индексами, рассчитанными по концентрациям общего азота и общего фосфора можно сделать вывод о том, что лимитирующим биогенным элементом развития фитопланктона во всех исследуемых озерах является фосфор. По соотношению TN/TP продуктивность оз. Треугольное и Южное в равной степени ограничивается азотом и фосфором. В озерах с повышенной трофностью (оз. Ледовое) в развитие фитопланктона лимитируется азотом.

Установлено, что органическое вещество в озерах г. Мурманска представлено как автохтонным, так и аллохтонным происхождением. В озерах с наибольшими значениями индекса трофического состояния доля автохтонного органического вещества выше, что связано с большей продуктивностью водоемов. Накопление аллохтонного органического вещества больше в озерах, расположенных в естественных лесных зонах г. Мурманска.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00131.

Литература

- [1] Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». ГОСТ 17.1.4.02 – 90. Государственный контроль качества воды. М.: ИПК «Издание стандартов», 2003. С. 587-600.
- [2] *Неверова-Дзионак Е.В., Цветкова Л.И.* Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
- [3] *Паничева Л.П., Моисеенко Т.И., Кремлева Т.А., Волкова С.С.* Формирование состава органических веществ в малых озерах Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015, т. 1, №1. С. 151-163.
- [4] *Терентьева И.А., Кашулин Н.А., Денисов Д.Б.* Оценка трофического статуса субарктического озера Имандра // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017, т. 20, №1-2. С. 197-204.
- [5] *Фруммин Г.Т., Терещенко О.В.* Трофический статус озера Ильмень (по данным 2003-2020 гг.) // Серия Лимнология и океанология. 2022, №6. С. 50-57.
- [6] *Bai X., Jiang Z., Fang Y., Zhu L., Feng J.* Effects of Environmental Concentrations of Total Phosphorus on the Plankton Community Structure and Function in a

Microcosm Study // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, v.19, №14. P. 8412.

[7] *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnology and oceanography*. 1977, v. 22, №2. P. 361-369.

[8] *Dunalska J.* Total organic carbon as a new index for monitoring trophic states in lakes // *J. Oceanography and Hydrobiology*. 2011, v. 20. P. 112-115.

[9] *Gashkina N.A.* Zonal features of the distribution of biogenic elements and organic matter in small lakes // *Water Resources*. 2011, v. 38. P. 352-371.

[10] *Kratzer C.R., Brezonik P.L.* A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes // *Water Res. Bull.* 1981, v. 17. P. 713-715.

[11] *Schindler D.W., Hecky R.E., Findlay D.L., Stainton M.P., Parker B.R., Paterson M.J., Beaty K.G., Lyng M., Kasian S.E.M.* Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2008, v.105. P. 11254-11258.

[12] *Smith V.H.* The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: an empirical and theoretical analysis // *Limnol. Oceanogr.* 1982, v. 23. P. 1248-1255.

[13] Standard Method for Examination of Water and Wastewater; American Water Works Association. Denver: CO, USA, 1975. 119 p.

[14] *Vollenweider R.A.* Coastal marine eutrophication: principles and control // *Marine coastal eutrophication*. 1992. P. 1-20.

[15] *Yan Z., Han W., Peñuelas J., Sardans J., Elser J.J., Du E., Reich P.B., Fang J.* Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts // *Ecol. Lett.* 2016, v. 19, №10. P. 1237-1246.

S u m m a r y. The paper presents the results of assessing the trophic status of 8 lakes in Murmansk, which are under anthropogenic pressure of varying intensity. To assess the trophic status of the studied lakes, trophic state indices developed by Carlson, Kratzer and Brezonik, and Dunalskaya were used. The study was conducted from 2018 to 2022. According to the trophic state index, most of the studied lakes belong to oligotrophic type water bodies. The exception is Lake Ledovoe, which is characterized as a mesotrophic water body. It has been revealed that phosphorus is the limiting biogenic element for the development of phytoplankton in all studied lakes. Organic matter in the lakes of Murmansk is represented by both autochthonous and allochthonous origin.

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПРОКАРИОТ
МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА КИСЛО-СЛАДКОЕ
(КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)**

Е.А. Селиванова¹, Ю.А. Хлопко¹, Е.Д. Краснова²,
Д.А. Воронов³, А.О. Плотников¹

¹*Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург,
selivanova-81@mail.ru, 140374@mail.ru, protoz@mail.ru*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
e_d_krasnova@mail.ru*

³*Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва,
da_voronov@mail.ru*

**VERTICAL STRUCTURE OF PROKARYOTE COMMUNITIES IN THE
MEROMICTIC LAKE KISLO-SLADKOE (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)**

Е.А. Selivanova¹, Y.V. Mindolina¹, Y.A. Khlopko¹, E.D. Krasnova²,
D.A. Voronov³, A.O. Plotnikov¹

¹*Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Orenburg*

²*Biological Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

³*Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Аннотация. Меромиктические водоемы являются уникальными экосистемами в Арктике, микробиота которых недостаточно хорошо исследована. Впервые методом ДНК метабаркодинга по гену 16S рРНК определены таксономический состав и вертикальная структура сообществ прокариот в оз. Кисло-Сладкое на берегу Белого моря. Установлено четкое зонирование сообществ, соответствующее меромиктическому состоянию водоема. В аэробной зоне преобладали бактерии фил Actinobacteria, Bacteroidetes, Cyanobacteria, Planctomycetes, Proteobacteria и Verrucomicrobia. В зоне хемоклина и ниже доминировали филы Chlorobi, метаногенные археи порядка Methanomicrobiales, метанотрофы и сульфатредукторы. Археи фил Rasearchaeota и Woesearchaeota присутствовали только в придонной анаэробной зоне.

Ключевые слова: озеро Кисло-Сладкое, меромиксия, стратифицированное озеро, сообщество прокариот, ДНК метабаркодинг.

Введение

На побережье Белого моря насчитывается около двух десятков меромиктических водоемов, находящихся на разных стадиях изоляции от моря, которые образовались в результате постледникового изостатического поднятия морского берега [2]. Оз. Кисло-Сладкое (66°32'54" N, 33°08'05" E), расположенное рядом с Беломорской биологической станцией им. Н.А. Перцова МГУ, находится в процессе отдаления от Белого моря. Его уровень на 40 см выше уровня моря, в связи с чем морская вода поступает в озеро только в результате сизигийных приливов, периодически нарушая меромиксию [8]. В состоянии меромиксии слоистая гидрологическая структура исследуемого водоема включает верхний обогащенный кислородом миксолимнион, который разделен пикноклином на опреснённый слой и соленый аэробный слой, хемоклин, являющийся переходной зоной, и придонный слой с анаэробными условиями (монимолимнион) [3].

Градиенты физико-химических факторов, растворенных веществ и температуры воды влияют на вертикальное распределение различных организмов [6]. Стратифицированные водные массы с бескислородным придонным слоем предлагают большое разнообразие экологических ниш, формируя сложные взаимодействия между химической стратификацией и зонированным по вертикали микробным сообществом [5].

Биогеохимические, изотопные и микробиологические исследования в оз. Кисло-Сладкое позволили охарактеризовать вертикальную динамику процессов микробной трансформации соединений углерода и серы и продемонстрировать их высокую интенсивность, а также описать аноксигенное фототрофное сообщество [9, 10]. Однако вертикальная структура и разнообразие прокариот в оз. Кисло-Сладкое не изучались.

Цель данного исследования – методом ДНК метабаркодинга по гену 16S рРНК определить таксономический состав и вертикальную структуру сообществ прокариот в оз. Кисло-Сладкое.

Регион исследований, объекты и методы

В июле 2018 г. оз. Кисло-Сладкое состояло из четырех слоев от поверхности до дна: 1) солоноватый распресненный слой ветрового перемешивания от поверхности до 0,5 м; 2) аэробный слой с морской соленостью, перенасыщенный кислородом в результате фотосинтетической активности фитопланктона 1,0-2,5 м; 3) хемоклин (переходная зона между аэробным и анаэробным горизонтами 2,5-3,1 м; 4) анаэробная зона 3,5-4,0 м. Для ДНК-метабаркодинга были отобраны пробы с горизонтов 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,1; 3,5 и 4,0 м. На этих же горизонтах измерены температура, соленость, концентрация растворенного O_2 , pH, Eh, освещенность. Образцы воды сразу после отбора фильтровали в лаборатории ББС МГУ через мембранные фильтры с диаметром пор 2,4-4,5, 0,45 и 0,22 мкм. Фильтры помещали в пробирки с 200 мкл консерванта DNA/RNA Shield (Zymo Research, США) и транспортировали в Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН (ИКВС УрО РАН) (г. Оренбург). Все последующие этапы экспериментальной работы и обработку данных выполняли в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН.

Тотальную ДНК из фильтров выделяли комбинированным методом, включавшим механическую гомогенизацию в сочетании с методом ферментативного лизиса [1]. ДНК-библиотеки синтезировали с праймерами к варибельному участку V3–V4 гена 16S рРНК S-D-Bact-0341-b-S-17 и S-D-Bact-0785-a-A-21 [7] в соответствии с протоколом IlluminaPart #15044223 Rev. B. Секвенирование проводили на приборе MiSeq (Illumina, США) с использованием набора реактивов MiSeqReagent Kit V3 2×300. Биоинформатическая обработка включала оценку качества, объединение парно-концевых ридов, триммирование адаптеров, фильтрацию по качеству и длине, формирование ОТЕ (операционных таксономических единиц) путем дерепликации и кластеризации на уровне 97%, используя алгоритм UPARSE [4]. В процессе кластеризации удалялись химерные последовательности. Применяли глобальное выравнивание последо-

вательностей ОТЕ на первоначальные объединенные риды с помощью команды `usearch_global`. Из полученных данных исключали ОТЕ, представленные в количестве менее 10 в образце. Таксономию ОТЕ определяли с помощью базы данных RDP. ОТЕ, соответствующие ДНК эукариот, были удалены.

Результаты и их обсуждение

Всего выявлено 414 ОТЕ прокариот, относящихся к 27 филам бактерий и 3 филам архей. Микробные сообщества в разных слоях оз. Кисло-Сладкое отличались по своему составу согласно гидрологической и гидрохимической стратификации водоема на момент исследования. В аэробной зоне (0-2 м) наблюдались микробные сообщества, характерные для водоемов с насыщенной кислородом водой. В них преобладали Actinobacteria (23-41% в разных горизонтах), Bacteroidetes (10-24%), Planctomycetes (2-7%), Alphaproteobacteria (2-4%), Betaproteobacteria (1-4%), Gammaproteobacteria (4-10%), Cyanobacteria (8-14%), Planctomycetes (1-7%) и Verrucomicrobia (1-5%). По сравнению с поверхностным слоем Белого моря в поверхностных слоях озера Кисло-Сладкое таксономическое богатство было значительно выше. Цианобактерии составляли значительную долю сообщества. Почти все ОТЕ относились к родам *Cyanobium* и *Synechococcus*. Среди гаммапротеобактерий наиболее обильными были ОТЕ, относящиеся к роду *Pseudohongiella*. Из альфапротеобактерий доминирующими оказались флотипы, относящиеся к родам *Candidatus Pelagibacter* и *Marivita* из клады *Roseobacter*. Отмечены пурпурные несерные бактерии рода *Roseicyclus*. Хотя этот род не являлся доминантным, он регистрировался во всех аэробных слоях. Среди актинобактерий одной из наиболее обильных была ОТЕ, наиболее близкая морской актинобактерии из арктического фьорда – «*Candidatus Aquiluna*». Она была многочисленна во всех горизонтах озера и в поверхностном слое Белого моря. Другая ОТЕ, наиболее близкая к *Aquiluna* sp. AP026677.1, выявлена в поверхностных пресных слоях воды, и в Белом море не обнаружена. Несмотря на сходство доминирующих фил между верхним распресненным и нижним соленым слоями выявлены различия: в нижних слоях, по сравнению с верхними, преобладали *Valneolaeota*, доля которых достигала 1-3%, и класс *Oligoflexia* (1%), представленный хищными бактериями родов *Peredibacter* и *Halobacteriovorax*, отмечалось более высокое относительное обилие *Planctomycetes*, развитие которых в морских местообитаниях часто связано с микроводорослями и цианобактериями.

В целом анализ таксономической принадлежности ОТЕ, составляющих значительную часть сообщества в миксолимнионе продемонстрировал, что большинство из них являются гетеротрофными морскими бактериями.

В хемоклине и соседствующих с ним горизонтах резко увеличивалась доля филы *Chlorobi*, на долю которой приходилось 65-88% всех ридов, при этом доля других доминирующих фил была ниже: Actinobacteria – 5-6%, Bacteroidetes – 2-11%. Хлоробии были представлены лишь несколькими ОТЕ, из которых самая многочисленная наиболее близка виду *Chlorobium vibrioforme*, тогда как ранее выделенный из хемоклина вид *Chlorobium phaeovibrioides* был представлен единичными ОТЕ на горизонтах 3,1 и 3,5 м.

Среди гаммапротеобактерий появлялись метилотрофы родов *Methylophaga* и *Methyloprofundus*, указывающие на активный процесс окисления метана в зоне хемоклина. Только в этих горизонтах регистрировались Euryarchaeota, представленные метаногенами порядка Methanomicrobiales. В горизонте хемоклина и ниже снижалась доля классов Alphaproteobacteria и Betaproteobacteria, но увеличивалась доля дельтапротеобактерий, представленных сульфатредукторами семейств Desulfobacteraceae, Desulfobulbaceae и Desulfuromonadaceae. Данный факт согласуется с отмеченной ранее высокой скоростью бактериальной сульфатредукции в редокс-зоне. Одновременно в этой зоне присутствовали сероокисляющие хемолитотрофные представители гаммапротеобактерий, среди которых максимальным относительным обилием характеризовался *Thiomicrothabodus*. Пурпурные серные бактерии семейства Chromatiaceae обнаруживались в зоне хемоклина, однако их доля в сообществе была незначительна.

Микробные сообщества анаэробной зоны, расположенной ниже хемоклина (горизонты 3,5-4 м), отличались присутствием архей из некультивируемых линий Rasearchaeota и Woesearchaeota.

Выводы

1. Впервые в меромиктическом оз. Кисло-Сладкое методом высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК исследована вертикальная структура микробных сообществ. Установлено четкое зонирование сообществ, соответствующее гидрологическому состоянию водоема в условиях меромиксии.

2. В аэробной зоне (от 0 до 2,0 м) преобладали ОТЕ, принадлежащие морским гетеротрофным бактериям фил Actinobacteria, Bacteroidetes, Cyanobacteria, Planctomycetes, Proteobacteria и Verrucomicrobia.

3. В зоне хемоклина (2,5-3,1 м) доминировала фила Chlorobi составляя 65-88%, практически полностью представленная одной ОТЕ, близкой *Chlorobium vibrioforme*. Метаногены представлены метаногенными археями порядка Methanomicrobiales, метанотрофы – родами *Methylophaga*, *Methyloprofundus* и *Methylothermobacter*. Сульфатредукторы включали представителей семейств Desulfobacteraceae, Desulfobulbaceae и Desulfuromonadaceae, из которых к доминантам относился род *Desulfobacterium*. Среди сероокисляющих хемолитотрофных гаммапротеобактерий доминировал род *Thiomicrothabodus*.

4. В придонной анаэробной зоне (3,5-4,0 м) присутствовали археи фил Rasearchaeota и Woesearchaeota.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность администрации Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова и Центра выявления и поддержки одаренных детей в Оренбургской области «Гагарин» за содействие в проведении данного исследования. Работы по выделению ДНК, приготовлению ДНК-библиотек, высокопроизводительное секвенирование и биоинформатический анализ данных выполнены в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург).

Литература

- [1] *Белькова Н.Л.* Молекулярно-генетические методы анализа микробных сообществ // Разнообразие микробных сообществ внутренних водоемов России: Учебно-методическое пособие. Ярославль: Принтхаус, 2009. С. 53-63.
- [2] *Краснова Е.Д.* Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021, т. 48, № 3. С. 322-333.
- [3] *Краснова Е.Д., Мардашова М.В.* Как морской залив превращается в озеро // Природа. 2020. № 1. С. 16-27.
- [4] *Edgar R.C.* UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads // Nature Methods. 2013, №10. P. 996-998.
- [5] *Fenchel T., Kristensen L.D., Rasmussen L.* Water Column Anoxia: Vertical Zonation of Planktonic Protozoa // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1990, v. 62. P. 1-10.
- [6] *Khromechek E.B., Barkhatov Y.V., Rogozin D.Y.* Community Structure and Vertical Distribution of Planktonic Ciliates in the Saline Meromictic Lake Shira during Breakdown of Meromixis // Ecohydrol. Hydrobiol. 2021, v. 21. P. 142-152.
- [7] *Klindworth A., Pruesse E., Schweer T., Peplies J., Quast C., Horn M., Glöckner F.O.* Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies // Nucleic Acids Res. 2013, v. 41, № 1.
- [8] *Krasnova E.D., Pantyulin A.N., Belevich T.A., Voronov D.A., Demidenko N.A., Zhitina L.S., Ilyash L.V., Kokryatskaya N.M., Lunina O.N., Mardashova M.V., Prudkovsky A.A., Savvichev A.S., Filippov A.S., Shevchenko V.P.* Multidisciplinary studies of the separating lakes at different stage of isolation from the White Sea performed in March 2012 // Oceanology. 2013, v. 53. P. 639-642.
- [9] *Lunina O.N., Savvichev A.S., Krasnova E.D., Kokryatskaya N.M., Veslopolova E.F., Kuznetsov B.B., Gorlenko V.M.* Succession processes in the anoxygenic phototrophic bacterial community in Lake Kislo-Sladkoe (Kandalaksha Bay, White Sea) // Microbiology. 2016, v. 85. P. 570-582.
- [10] *Savvichev A.S., Lunina O.N., Rusanov I.I., Zakharova E.E., Veslopolova E.F., Ivanov M.V.* Microbiological and isotopic geochemical investigation of Lake Kislo-Sladkoe, a meromictic water body at the Kandalaksha Bay shore (White Sea) // Microbiology. 2014, v. 83. P. 56-66.

S u m m a r y. Meromictic water bodies are unique ecosystems in Arctic, microbiota of which is understudied. For the first time, the taxonomic composition and vertical structure of prokaryotic communities in Lake Kislo-Sladkoe on the coast of the White Sea were determined using DNA metabarcoding of the 16S rRNA gene. A clear distinction of communities was revealed according to the meromictic state of the water body. The aerobic zone was dominated by bacteria of the phyla Actinobacteria, Bacteroidetes, Cyanobacteria, Planctomycetes, Proteobacteria, and Verrucomicrobia. In the chemocline zone and below, phyla Chlorobi, methanogenic archaea of the order Methanomicrobiales, methanotrophs, and sulfate reducers dominated. Archaea of the phyla Pacearchaeota and Woesearchaeota were present in the near-bottom anaerobic zone only.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГЛУБИНЕ РАСТВОРЕННОГО
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ФОТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ В
ЛАГУНЕ НА ЗЕЛЕНОМ МЫСЕ В СЕНТЯБРЕ 2022 ГОДА**

Ю.Г. Соколовская¹, А.А. Жильцова¹, О.А. Филиппова¹, Е.Д. Краснова¹,
Д.А. Воронов², С.В. Пацаева¹

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, sokolovskaja.julija@physics.msu.ru,
e_d_krasnova@mail.ru; spatsaeva@mail.ru*

²*Институт проблем передачи информации РАН, г. Москва, da_voronov@mail.ru*

**DEPTH DISTRIBUTION OF DISSOLVED ORGANIC MATTER
AND PHOTOTROPHIC BACTERIA IN THE LAGOON
ON THE CAPE ZELENYI IN SEPTEMBER 2022**

Yu. Sokolovskaya¹, A. Zhiltsova¹, O. Filippova¹, E. Krasnova¹, D. Voronov²,
S. Patsaeva¹

¹*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

²*Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow*

Аннотация. Экосистема Лагуны на Зеленом мысе относится к значительно отгороженным от моря лагунам с повышенным содержанием органического вещества в осадках. Она отделена от основного бассейна Белого моря мелководным порогом, который полностью перекрывает лагуну при отливе на малой воде. Задачами данной работы было получение с помощью спектральных методов распределения по глубине Лагуны на Зеленом мысе концентрации РОВ и бактериохлорофиллов, характеризующих распределение зеленых серных бактерий – аноксигенных фототрофов, типичных обитателей хемоклина в меромиктических водоемах.

Ключевые слова: прибрежные меромиктические водоемы, морские лагуны, гуминовые вещества, аноксигенные фототрофные бактерии, спектры поглощения, Белое море.

Введение

В Арктической зоне меромиктические водоемы встречаются редко, так как для их образования необходимы определенные условия. Наиболее распространены прибрежные меромиктические водоемы, в которых соленая морская вода перекрыта пресной, поступающей с водосбора. На побережье Белого моря в результате постгляциального поднятия берега образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от Белого моря. В общей сложности выявлено более двух десятков водоемов, еще сохранивших связь с морем. Рассматривая их как последовательные стадии изоляции можно реконструировать ход гидрологической и экологической эволюции водоема.

В меромиктических водоемах с сульфидной аноксией на границе аэробной и анаэробной зон при достаточном проникновении солнечного света образуется окрашенная прослойка воды с массовым развитием фототрофных микроорганизмов. Это могут быть одноклеточные водоросли или аноксигенные фототрофные бактерии, которые окрашивают воду, в зависимости от доминирующего микроорганизма и пигментов, входящих в состав его фотосинтетического аппарата. Изучение вертикального распределения фототрофных микроорганизмов и растворенного органического вещества (РОВ) в меромиктических водоемах позволяет характеризовать водоем и определить его место в процессе эволюции.

Лагуна на Зеленом мысе (общей площадью 17662 м² со средним диаметром 150 м и максимальной глубиной 6,5 м) расположена в 3 км от Беломорской

биологической станции МГУ в Кандалакшском заливе (66°31'49" с.ш. и 33°05'55" в.д.). Она отделена от морской акватории мелководным каменистым порогом, который полностью открывается при отливе и оказывается под водой на максимуме прилива. Благодаря изоляции, в лагуне накапливается осадочное вещество, поступающее из моря и с водосбора, а также органические вещества автохтонного и аллохтонного происхождения, в виде илистого осадка с повышенным содержанием органики. Лагуна на Зеленом мысе обладает очень маленьким водосбором, лишь в 7 раз превышающем площадь водного зеркала, что определяет ее гидрологические особенности [2]. Объем поверхностного стока, поступающего в лагуну, мал, и не приводит к опреснению верхнего слоя. Разница в плотности воды, необходимая для устойчивой стратификации (меромиксии), формируется за счет аккумуляции на дне концентрированного рассола, который образуется при замерзании морской воды. В придонной зоне лагуны постоянно существует сульфидная зона с границей, в разные годы находящейся на глубине 4,0-5,5 м. На этой границе (в хемоклине) в безледный период развивается окрашенное сообщество микроорганизмов, включающее прослойку с цветением одноклеточных водорослей над редокс-переходом и под ним, а в анаэробной части хемоклина – прослойку с аноксигенными фототрофными бактериями [4]. Цветение водорослей чаще всего образовано криптофитовыми жгутиконосцами красного цвета *Rhodomonas* sp. Эти водоросли обладают устойчивостью к сероводороду и в некоторых случаях могут опускаться в сероводородную зону [3]. Аноксигенные фототрофы бывают представлены пурпурными серными бактериями и коричнево-окрашенными серными бактериями [6]. Задачей данной работы было построение распределения по глубине Лагуны на Зеленом мысе концентрации РОВ и бактериохлорофиллов зеленых серных бактерий.

Объекты и методы

Отбор проб производили в сентябре 2022 г. в Лагуне на Зеленом мысе в точке с глубиной 6 м. Для анализа спектрально-люминесцентных свойств воды было отобрано 10 образцов воды с нескольких горизонтов (0 м, 1,0 м, 2,0 м, 3,0 м, 4,0 м, 4,5 м, 5,0 м, 5,1 м, 5,4 м, 5,9 м). Хемоклин в этот момент занимал слой 4,5-5,5 м. Пробы воды отбирали с помощью погружаемого насоса в пластиковые пробирки. Для исследования РОВ перед спектральными измерениями воду фильтровали нейлоновыми фильтрами с размером пор 0,22 мкм для отделения взвешенных частиц. Спектры поглощения измеряли с помощью спектрофотометра Solar PB2201: для нефilterованной воды в кюветах с длиной оптического пути 1 см – с целью получения полос поглощения бактериохлорофилла и определения концентрации пигментов зеленых серных бактерий по методу из работы [1]; для filterованной воды в кюветах с длиной оптического пути 3 см – для анализа РОВ на разных горизонтах водоема. Оптические плотности, измеренные в разных кюветах, в дальнейшем приводили к оптической плотности при 1 см. Для filterованной воды измеряли также спектры флуоресценции РОВ с помощью спектрофлуориметра Solar CM2203 с возбуждением спектров испускания на разных длинах волн.

Растворенное органическое вещество (РОВ) и соленость воды

Спектры поглощения РОВ приведены на рисунке 1А. Во всех образцах оптическая плотность монотонно убывала с ростом длины волны, что типично для РОВ природной воды [5]. В воде из придонной анаэробной зоны (5,9 м) спектр поглощения света значительно отличался от остальных. Это связано с накоплением РОВ в придонной воде. При изучении спектров поглощения мы обнаружили возрастающую зависимость оптической плотности РОВ в ближнем УФ диапазоне (350 или 380 нм) от глубины и солености воды. Поверхностная вода в Лагуне на Зеленом мысе менее соленая, а на глубине соленость повышается примерно на 2‰. Одновременно увеличивается концентрация РОВ в воде (рис. 1Б).

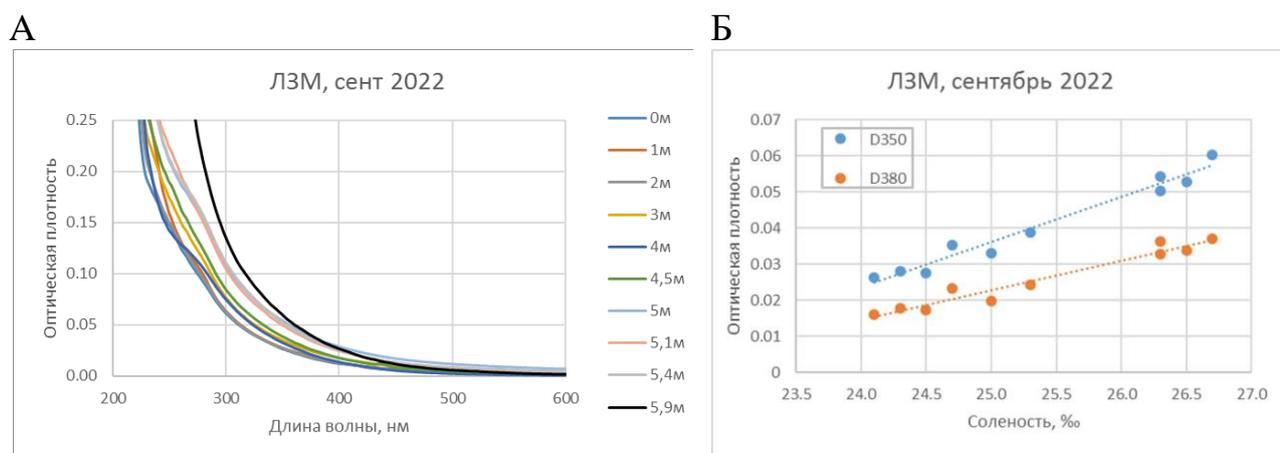


Рис. 1. А – Спектры поглощения РОВ с разных горизонтов (сентябрь 2022 г.).
Б – Зависимость оптической плотности D350 и D380 от солености воды.

Зависимость длины волн максимума спектра λ_{\max} от длины волны возбуждения λ_{ex} представлена на рисунке 2. Из рисунка видно, что зависимость имеет немонотонный характер: при длине волны возбуждения 250-270 нм λ_{\max} возрастает, далее до 310 нм уменьшается, далее до 310 нм увеличивается.

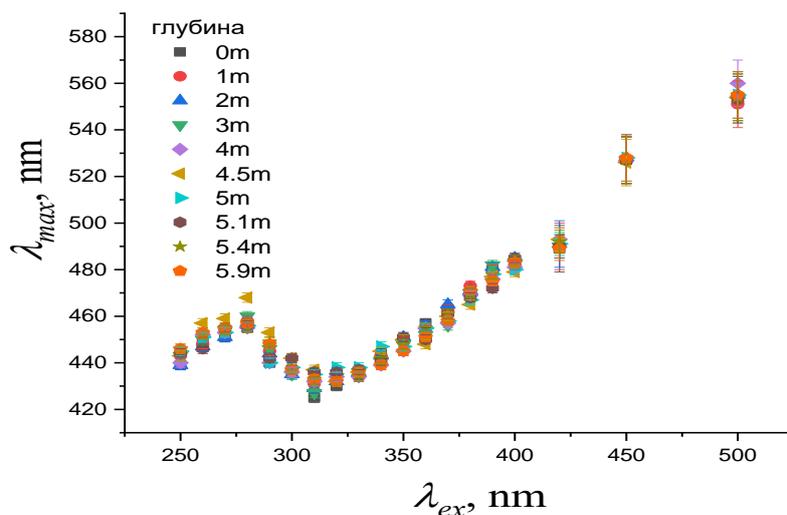


Рис. 2. Зависимость длины волны максимума флуоресценции РОВ от длины волны возбуждения.

Смещение максимума полосы испускания флуоресценции в сторону более коротких длин волн при изменении длины волны возбуждения от 280 до 310 нм соответствует «синему сдвигу», характерному для природных гуминовых соединений [5]. При дальнейшем увеличении длины волны возбуждения максимум испускания сдвигается в длинноволновую область. Тот факт, что зависимость λ_{\max} от длины волны возбуждения получилась сходной для разных горизонтов, говорит о том, что ароматическая часть, отвечающая за флуоресценцию РОВ, имеет схожую химическую природу на разных глубинах, однако ближе ко дну наблюдается постепенное накопление РОВ.

Зеленые серные бактерии и концентрация бактериохлорофилла (Бхл)

Рисунок 3 показывает спектры поглощения воды с микроорганизмами на горизонтах ниже хемоклина.

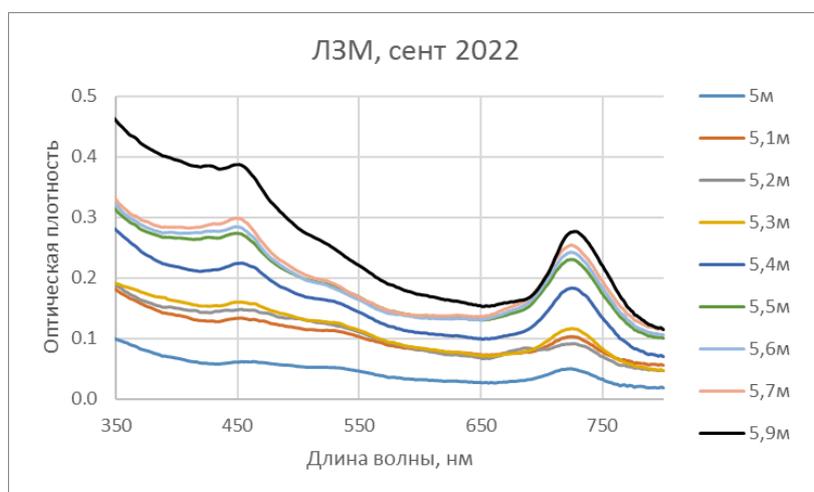


Рис. 3. Спектры поглощения нефильтрованной воды с разных горизонтов ниже хемоклина.

По площади длинноволновой полосы поглощения Бхл в спектральном диапазоне 650...800 нм была определена концентрация Бхл ($d+e$), основных фотосинтетических пигментов зеленых серных бактерий (табл. 1).

Таблица 1. Концентрация Бхл ($d+e$) в Лагуне на Зеленом мысе в сентябре 2022 г.

Глубина, м	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,9
Концентрация Бхл ($d+e$), мг/м ³	477	690	774	1067	1905	2278	2495	2598	2775

Концентрация Бхл ($d+e$) возрастает по направлению ко дну озера, при этом не имеет четко выраженного максимума, что, по всей вероятности, связано с оседанием и накоплением отмерших бактериальных клеток, в которых при этом сохраняются пигменты. Максимальная концентрация Бхл ($d+e$) в придонной воде (2775 мг/м³) превышала примерно в 7 раз концентрацию Бхл в том же водоеме в сентябре 2017 г., приведенную в статье [6] для глубины 6 м.

Заключение

Таким образом, результаты исследований оптической плотности в ближнем УФ диапазоне указывают на существование разных источников РОВ в Ла-

гуне на Зеленом мысе: РОВ морской воды, поступающей в водоем, и автохтонный источник, результат переработки первичной продукции, образованной внутри водоема. Монотонное возрастание оптической плотности РОВ с глубиной, вероятно, отражает распределение живых организмов, которые служат источником РОВ, и накопление продуктов их разложения в анаэробной зоне. Это подтверждается монотонным ростом концентрации Бхл ($d+e$) с глубиной.

Литература

- [1] Емельянцева П.С., Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Рымарь В.В., Пацаева С.В. Определение концентрации хлоросомных бактериохлорофиллов по спектрам поглощения клеток зеленых серных бактерий в пробах природной воды // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. 2020, № 2. С. 25-30.
- [2] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. Исследования отделяющихся водоемов на побережье Белого моря // Комплексные исследования Бабыего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. С. 211-241.
- [2b] Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. 2014, т. 83, № 3. С. 346-354.
- [2c] Krasnova E., Matorin D., Belevich T., Efimova L., Kharcheva A., Kokryatskaya N., Losyuk G., Todorenko D., Voronov D., Patsaeva S. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // Chin. J. Oceanol. Limnol. 2018, N 6. P. 1-16.
- [3] Trubetskaya O.E., Richard C., Patsaeva S.V., Trubetskoj O.A. Evaluation of aliphatic/aromatic compounds and fluorophores in dissolved organic matter of contrasting natural waters by SEC-HPLC with multi-wavelength absorbance and fluorescence detections// Spectrochim. Acta - Part A. 2020, v. 238, N5. P.118450-118450.
- [4] Grouzdev D., Gaisin V., Lunina O., et. al. Microbial communities of stratified aquatic ecosystems of Kandalaksha Bay (White Sea) shed light on the evolutionary history of green and brown morphotypes of Chlorobiota, FEMS Microbiology Ecology. 2022, v. 98, Is. 10, fiac103.

S u m m a r y. The ecosystem of the Lagoon on Cape Zelenyi belongs to the lagoons significantly fenced off from the sea with a high content of organic matter in sediments. It is separated from the main basin of the White Sea by a shallow sill, which completely covers the lagoon at low tide. The objectives of this work were to obtain using spectral methods the depth distribution of DOM and bacteriochlorophylls over the of the Lagoon on Cape Zelenyi characterizing the distribution of green sulfur bacteria, anoxygenic phototrophs – typical inhabitants of the chemocline of this meromictic reservoir at the White Sea coast.

ПРОЦЕССЫ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ МАЛЫХ ОЗЕР БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА

К.В. Титова, Н.М. Кокрятская, Е.Е. Захарова, О.Ю. Морева, С.С. Попов
ФИЦКИА им. Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, ksyu_sev@mail.ru

DESTRUCTION PROCESSES OF ORGANIC MATTER IN THE WATER OF SMALL LAKES OF THE BIG SOLOVETSKY ISLAND

K.V. Titova, N.M. Kokryatkaya, E.E. Zaharova, O.Yu. Moreva, S.S. Popov
N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural Branch RAS, Arkhangelsk

Аннотация. В данной работе были проведены исследования трех пресноводных озер Варваринское, Нижний Перт и Святое, отличающихся разным удалением от моря и антропогенным воздействием. Изучение процессов деструкции органического вещества осуществлено в предшествующий осеннему охлаждению вод период. В оз. Святое по столбу воды отмечено равномерное распределение всех показателей (температура также выровнена, но не достигла еще 4°C). Наибольшие количества всех продуктов анаэробной деструкции органического вещества (метана, сероводорода, аммония, железа) были выявлены для воды оз. Варваринское, отнесенного нами к меромиктическим водоемам с устойчивой анаэробной зоной.

Ключевые слова: Большой Соловецкий остров, малые озера, физико-химические показатели, органическое вещество, соединения железа, серы.

Введение

Водные экосистемы играют важную роль в глобальном углеродном цикле. Углерод может находиться в виде растворенных неорганических или органических соединений как в пресноводных, так и в морских системах. Исследования, касающиеся продуцирования и последующей минерализации органического вещества (ОВ) в водных экосистемах, имеют актуальный характер, а среди геохимических процессов наиболее важными являются сопряженные с циклом углерода превращения серы, железа и биогенных элементов [2-4]. Общеизвестно, что органическое вещество как автохтонного, так и аллохтонного происхождения при поступлении в водную среду подвергается воздействию микроорганизмов. На протекание деструкционных процессов влияет как качественный состав органического вещества, так и внутриводоемные особенности. При хорошей аэрации водной толщи, сопровождающейся проникновением кислорода в придонные слои, наблюдается аэробная минерализация органического вещества, осуществляющаяся химическим и микробиологическим путями. В условиях стагнации в нижних слоях воды и донных отложениях создаются анаэробные условия. Конечными продуктами анаэробной минерализации органического вещества являются неорганические соединения серы, углерода, азота, железа.

Большое количество озер на Большом Соловецком острове (по разным данным от 500 до 1000), уникальность как в историко-культурном, так и природном аспекте делает этот остров интересным для проведения исследования. На основании ранее проведенных изучений были выбраны водоемы с разной степенью антропогенного воздействия и удаленностью от моря.

Целью настоящего исследования было изучение процессов, связанных с деструкцией органического вещества, и определение образующихся в ходе них веществ, в воде трех озер Большого Соловецкого острова.

Объекты и методы

Объектами данного исследования являлись пресноводные озера: Святое (антропогенное воздействие), Варваринское (близость и явно выраженное влияние моря), Нижний Перт (без антропогенного влияния, обособленное и удаленное от моря) (рис. 1).

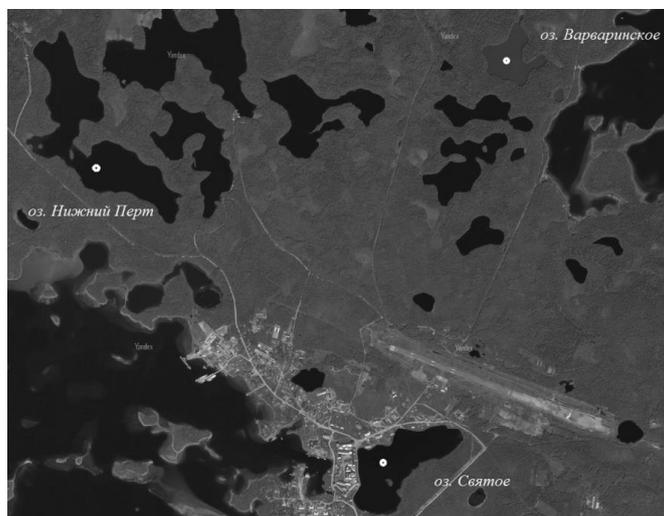


Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых озер и станций отбора проб.

Отбор воды проводился в сентябре 2022 года на глубоководных участках исследуемых озер: Варваринское (8,5 м), Нижний Перт (12,5 м) и Святое (10,0 м) с помощью горизонтального поликарбонатного батометра на 5 л в соответствии с ГОСТ 31861-2012. На месте были осуществлены измерения быстро изменяющихся показателей – температура, содержание кислорода; в экспедиционной лаборатории – формы растворенных металлов, сероводород; в стационарной лаборатории – содержание биогенных элементов, ионов, органического углерода по общепринятым методикам с применением необходимой консервации и соблюдением сроков и способов хранения.

Обсуждение результатов

Для водоемов средней и северной тайги период осеннего охлаждения и гомотермии приходится на октябрь. Полученные нами данные по измерению температуры и кислорода в воде исследуемых в конце сентября представлены на рисунке 2.

Для вод оз. Святое отмечено равномерное изменение температуры от поверхности ко дну (рис. 2а), но значение ее изменялось не около 4°С, а достигало 11°С. Для озер Варваринское и Нижний Перт этот показатель изменялся от 11 до 5-6°С. Термоклин начинался с 5,0 м (оз. Варваринское) и 7,0 м (оз. Нижний Перт), до этой глубины температура была выровнена, наблюдалась прямая температурная стратификация.

Наибольшие количества кислорода в поверхностном слое были установлены для воды оз. Святое и Нижний Перт. При этом содержание кислорода в сентябре в оз. Святое изменялось по водному столбу незначительно от 10,5 до 9,8 мг/л (рис. 2б). В воде оз. Нижний Перт оно снижалось от поверхности ко

дну равномерно, полное исчерпание кислорода выявлено только в придонных слоях (с 12,0 м) (рис. 2б), до 7 м изменения были минимальны – от 10,4 до 9,4 мг/л. Отметим, что в оз. Варваринское вплоть до 5,0 м количество кислорода практически не изменялось (от 9,8 до 9,5 мг/л). Выявлены стратификация по кислороду и наличие анаэробных условий, начиная с 6,0 м (рис. 2б). В период же летней межени граница аэробно-анаэробных условий в воде этого водоема обнаружена на горизонте 3,0 м.

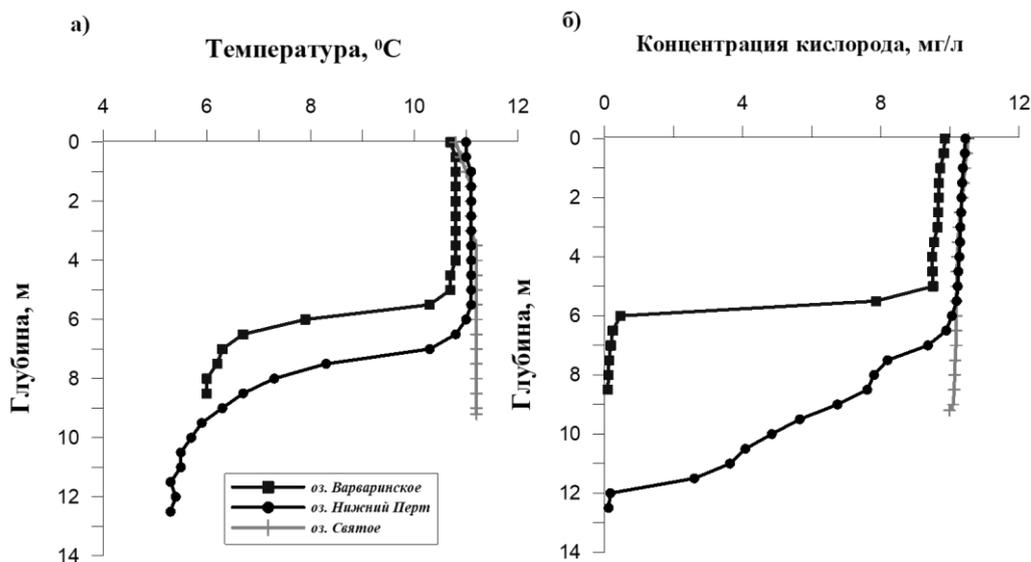


Рис. 2. Изменение физико-химических показателей воды исследуемых озер.

По количеству органического углерода в воде исследуемые озера относились к категории с низким (7,5-15 мг/л) и средним (15-30 мг/л) его содержанием [1] (рис. 3а). Снижение от поверхности ко дну отмечено для оз. Нижний Перт (от 8,7 до 7,8 мг/л), для оз. Святые количества углерода практически не изменялись по водному столбу (от 12,7 до 12,6 мг/л). В воде оз. Варваринское отмечалось увеличение содержания органического углерода (от 13,7 до 20,9 мг/л), предположительно, за счет планктонного детрита.

Количества сульфатов были небольшими (рис. 3б), что связано с низкой минерализацией вод водоемов. По водной толще этот показатель изменялся незначительно и в среднем составлял (мг/л): для оз. Варваринское – 1,1; оз. Нижний Перт – 3,01 и оз. Святые – 4,7. Содержание сероводорода, образующегося в ходе анаэробной сульфатредукции, для оз. Святые было близко к нулю по всей водной толще (рис. 3в), что связано с аэробными условиями вплоть до придонных слоев, для оз. Нижний Перт тоже было малыми (около 5-6 мкг/л, ПДК_{рыбохоз} 5 мкг/л). В аэробной зоне оз. Варваринское сероводород был отмечен в количестве 16-20 мкг/л, в анаэробной его содержание изменялось от 200 до 470 мкг/л (рис. 3г).

Еще одним продуктом сульфатредукции являются гидрокарбонаты. Этот показатель мы оценивали по щелочности вод. В оз. Святые щелочность (ммоль/л) не изменялась по водному столбу (около 0,13) (рис. 4в), в оз. Нижний Перт этот показатель был немного больше и к придонным слоям отмечено его снижение (от 0,18 до 0,13). В оз. Варваринское щелочность была значительна и изменялась по водному столбу (от 0,55 до 1,10) (рис. 4г).

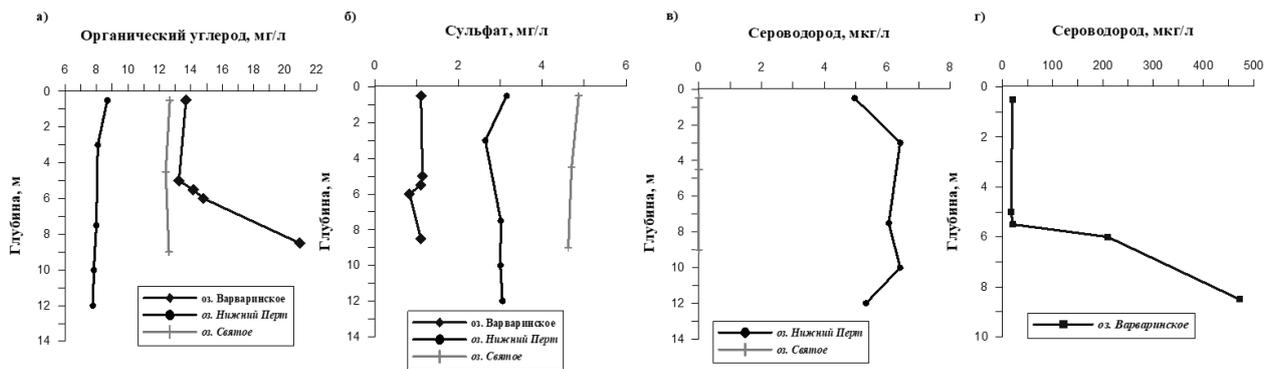


Рис. 3. Изменение концентрации органического углерода и соединений серы в воде исследуемых озер.

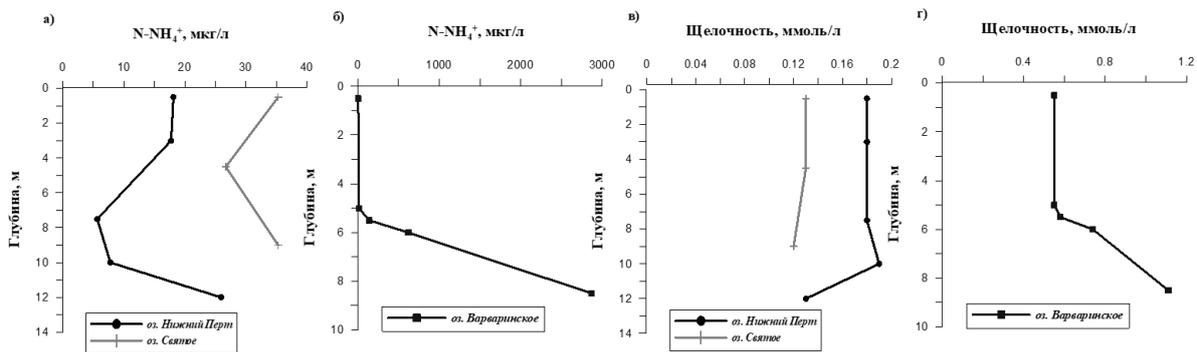


Рис. 4. Изменение щелочности и концентрации аммония в воде исследуемых озер.

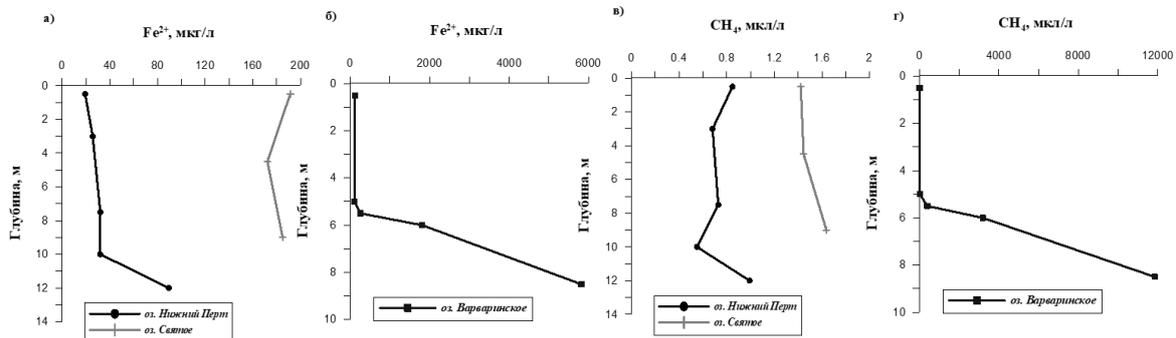


Рис. 5. Изменение концентрации железа и метана в воде исследуемых озер.

Разложение органического вещества сопровождается также образованием аммония. Содержание этого соединения было небольшим в водах оз. Нижний Перт (20-25 мкг/л), несколько увеличиваясь к придонным слоям; в оз. Святое его было чуть больше – около 35 мкг/л (рис. 4а). В воде оз. Варваринское количества аммония постепенно увеличивались почти от нуля до 2800 мкг/л в придонном слое (рис. 4б).

Железобактерии, окисляя органическое вещество, приводят к наличию в воде, соответственно, восстановленной формы железа. Минимальные количества (мкг/л) ее были отмечены для воды оз. Нижний Перт (от 19 до 89), (около 190) – в оз. Святое (рис. 5а). В оз. Варваринское содержание этой формы железа изменялось (от 200 до 5800) (рис. 5б).

Для вод оз. Нижний Перт и Святое количества метана (мкл/л) практически не изменялись по водному столбу (около 0,8 и 1,4 соответственно) (рис. 5в).

В оз. Варваринское активен был и процесс метаногенеза – количества метана по водному столбу изменялись от (7-25) в аэробной зоне до (3200-11800) в анаэробной зоне придонных слоев (рис. 5г).

Выводы

Проведенные исследования на трех озерах (Варваринское, Нижний Перт и Святое) в период, предшествующий осеннему охлаждению, выявили разный тип миксии в этих водоемах: оз. Святое – димиктический, оз. Варваринское – предположительно, меромиктический, а Нижний Перт – скорее всего, димиктический с возможным периодическим не перемешиванием придонного слоя. На этот параметр оказали влияние проточность водоемов и близость моря (недавнее от него отделение).

На протекании процессов деструкции органического вещества сказалось распределение кислорода по водному столбу. При значительных и выровненных его значениях наличие продуктов анаэробных процессов, сопряженных с циклом углерода, в воде минимальны (оз. Святое). Антропогенное воздействие в этот период не влияло на активизацию деструкции. Наличие устойчивой анаэробной зоны в несколько метров (оз. Варваринское) приводило к заметной деструкции органического вещества с накоплением больших количеств метана, сероводорода, гидрокарбонатов, аммония и восстановленного железа. Активизация этих процессов связана с поступлением планктонного детрита (увеличение количеств органического углерода в придонных слоях).

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20144 «Сукцессионные процессы при переходе лимнической экосистемы от морской к континентальной с учетом воздействия природных и антропогенных факторов (на примере водоемов Большого Соловецкого острова)».

Литература

- [1] *Kumaev С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр, 2007. 395 с.
- [2] *Rantala M.V., Luoto T.P., Nevalainen L.* Temperature controls organic carbon sequestration in a subarctic lake // *Scientific Reports*. 2016, v. 6, № 34780.
- [3] *Schneider B., Otto S.* Organic matter mineralization in the deep water of the Gotland Basin (Baltic Sea): Rates and oxidant demand // *Journal of Marine Systems*. 2019, v. 195. P. 20-29.
- [4] *Scribe P., Ngoumbi-Nzouzi J-S., Fuche Ch., Pepe C., Saliot A.* Biogeochemistry of organic matter in Lake Geneva: I – particulate hydrocarbons as biogenic and anthropogenic molecular markers // *Hydrobiologia*. 1990, v. 207. P. 319-331.

S u m m a r y. In three freshwater lakes Varvarinskoe, Nizhniy Perth and Svyatoe which differ in distances from the sea and anthropogenic impact the processes of destruction of organic matter were studied in the period preceding the autumn cooling of waters. In the lake Svyatoe, along the water column all indicators were uniform distributed. The largest amount of the products of organic matter anaerobic degradation (methane, hydrogen sulfide, ammonium, iron) were found for the water of the lake Varvarinskoe, which we referred to meromictic water bodies with a stable anaerobic zone.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗЁР ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В.П. Шевченко¹, Н.М. Кокрятская², С.К. Белоруков¹, Е.А. Вахрамеева²,
Е.И. Котова¹, Д.П. Стародымова¹, А.В. Чупаков², А.Е. Яковлев¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, vshevch@ocean.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика
Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, nkokr@yandex.ru

GRAIN SIZE AND MACROELEMENTAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES IN THE PRIMORSKY DISTRICT OF THE ARKHANGELSK REGION

V.P. Shevchenko¹, N.M. Kokryatskaya², S.K. Belorukov¹, E.A. Vakhrameeva²,
E.I. Kotova¹, D.P. Starodymova¹, A.V. Chupakov², A.E. Yakovlev¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Arkhangelsk

Аннотация. Исследование состава донных осадков озёр актуально, т.к. они являются природными архивами, изучая которые учёные узнают о характеристиках окружающей среды в момент образования конкретного слоя осадочной толщи. Авторы доклада исследовали гранулометрический и макроэлементный состав донных осадков двух малых мелководных озёр водосбора Двинского залива Белого моря (оз. Пикалёво, расположенного в 70 км на запад от г. Северодвинска, и оз. Заднего, расположенного в 20 км на юго-восток от г. Архангельска вблизи шоссе). Показано, что донные осадки представлены пелитовыми и алевропелитовыми илами с высоким содержанием биогенного материала (более 16% в донных осадках оз. Пикалёво и > 49% в донных осадках оз. Заднего). Al₂O₃, Na₂O, MgO, K₂O, Fe₂O₃ в основном входят в состав литогенного материала, а P₂O₅ – биогенного.

Ключевые слова: природные архивы, донные осадки, озёра, литогенный материал, биогенный материал, перенос пыли.

Введение

Уникальной особенностью озерных донных осадков является то, что скорости их накопления в десятки, а иногда и в сотни раз выше, чем в прилегающих морях, т.е. разрешающая способность стратиграфических методов здесь намного выше, чем в морях [4, 5, 9, 17]. Поэтому донные осадки малых озёр являются природными архивами, изучая которые учёные узнают о характеристиках окружающей среды в момент образования конкретного слоя осадочной толщи [1, 13, 16]. В водосборном бассейне Белого моря и на прилегающих территориях наиболее детально изучен состав донных осадков озёр Мурманской области и Республики Карелия [2, 7, 15 и др.]. Озёра Архангельской области изучены значительно меньше [8, 10 и др.].

В докладе представлены результаты исследования многоэлементного состава верхнего слоя (до глубины 32-34 см) донных осадков двух малых мелководных озёр водосбора Двинского залива Белого моря.

Регион исследований, объекты и методы

Содержание химических элементов в донных осадках двух малых озёр водосбора Двинского залива Белого моря (оз. Пикалёво, расположенного в фо-

новом районе в 70 км на запад от г. Северодвинска, и оз. Заднего, расположенного в 20 км на юго-восток от г. Архангельска вблизи шоссе Архангельск–Вологда) было изучено авторами в пробах, отобранных с помощью трубок гравитационного типа с вакуумным клапаном. Расположение озёр, в которых были отобраны керны донных отложений, показано на рисунке 1. Донные осадки в оз. Пикалёво отобраны 20.02.2017, в оз. Заднем – 28.02.2020. Глубина воды в точке отбора в оз. Пикалёво была 4,3 м, а в оз. Заднем – 3 м. В оз. Пикалёво в точке пробоотбора была отмечена низкая скорость осадконакопления (0,75 мм/год); в оз. Заднем в точке в верхних 10 см донных осадков скорость осадконакопления выше (1,5 мм/год) [11].

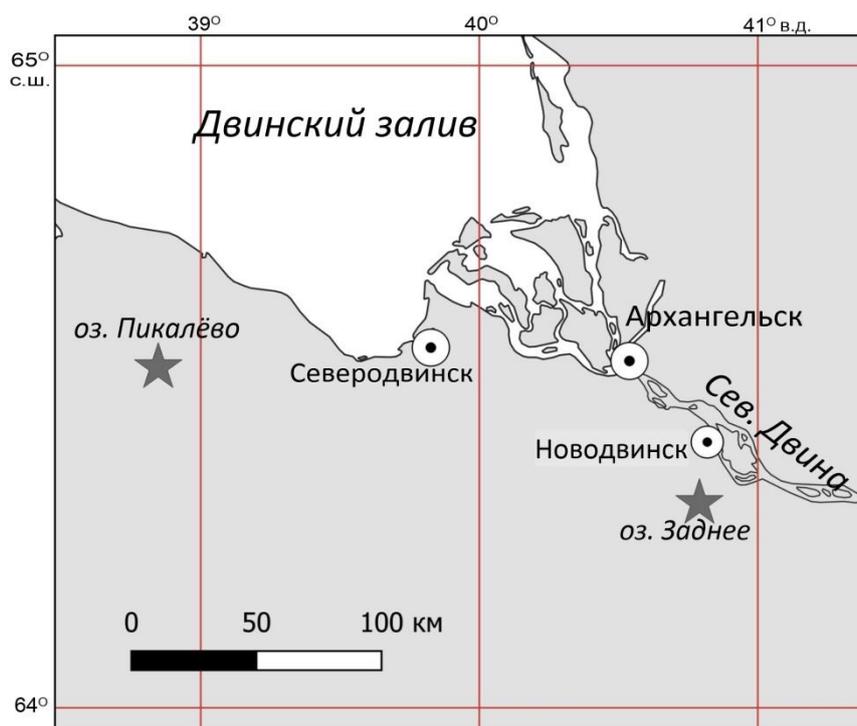


Рис. 1. Схема расположения изученных озёр (показаны звёздочками).

Гранулометрический состав донных отложений озёр определяли в соответствии с методикой [6]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29%.

Элементный анализ проб проведен в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Навески растертых проб массой 100 мг были разложены в тефлоновых стаканах смесью кислот (HClO_4 , HF , HNO_3 , HCl , H_3BO_3). Содержание Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe и ряда микроэлементов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (iCAP-6500, Thermo Scientific, США). Более подробно методика элементного анализа описана в работе [3].

Результаты и обсуждение

Исследованные слои донных осадков озера Пикалево представлены пелитовым илом с содержанием пелита до 97,15% и алевро-пелитовыми илами с содержанием алевролита в среднем 28%. Гранулометрический состав донных осадков озера Заднего практически такой же, как и донных осадков озера Пикалево.

Донные осадки озер отличаются по содержанию песка (1-0,1 мм) – от 2,77% в озере Пикалево до 5,89% в озере Заднем. Так же в озере Заднем выделяется верхний слой с содержанием алевролита (0,1-0,01 мм) 52,96%, с последующим резким увеличением пелитовой фракции (<0,01 мм) с глубиной. Но в целом, значения гранулометрических фракций алевролитов и пелитов в озерах близки. Наиболее высокое содержание песчаной фракции в донных осадках оз. Заднего (5,75 и 9,24%) отмечено на глубине 4-8 см, образовавшихся в 1960-1980-е гг. Песок, по-видимому, переносился ветром от шоссе Архангельск–Вологда, расположенного в 330-400 м от точки отбора проб.

В верхних 10 см донных осадков озера Пикалево содержание Al_2O_3 варьирует от 9,5 до 11,5%, в среднем составляя 10,37% при стандартном отклонении 0,61%. Глубже содержание Al_2O_3 изменяется незначительно, составляя в слое 33-34 см 11,7%. Среднее по всей 34-см колонке содержание Al_2O_3 равно 11,13% при стандартном отклонении 0,89%. Учитывая то, что среднее содержание Al_2O_3 в верхней части континентальной земной коры составляет 15,4% [14], мы можем рассчитать, что доля литогенного материала в донных осадках оз. Пикалево варьирует от 64 до 84%, в среднем составляя 72,2% при стандартном отклонении 5,8%. Соответственно, доля биогенного материала варьирует от 16 до 38%, в среднем составляя 27,8% при стандартном отклонении 5,8%.

В верхних 10 см донных осадков оз. Заднего содержание Al_2O_3 варьирует от 4,23 до 7,81%, в среднем составляя 5,97% при стандартном отклонении 1,25%, а глубже значительно уменьшается, достигая значения 3,8% в слое 32–34 см. Рассчитанная доля литогенного материала в донных осадках изученной колонки в оз. Заднем варьирует от 25 до 51%, составляя в среднем 32,4% при стандартном отклонении 7,8%. Соответственно, доля биогенного материала колеблется от 49 до 75%, составляя в среднем 67,6% при стандартном отклонении 7,8%. Таким образом, мы видим, что литогенный материал в донных осадках оз. Заднего значительно существеннее разбавлен органическим веществом, чем в донных осадках оз. Пикалево. Увеличение доли литогенного материала в верхних 10 см донных осадках оз. Заднего, по-видимому, связано с возрастанием пылевой нагрузки на это озеро со стороны проходящего вблизи шоссе и расположенных недалеко крупных городов – Архангельска и Новодвинска.

Между содержанием в донных осадках обоих изученных озёр Al_2O_3 и Na_2O , MgO , K_2O , Fe_2O_3 существует сильная корреляционная связь на 1% уровне значимости, что свидетельствует о том, что эти элементы в основном входят в состав литогенного материала. Коэффициенты корреляции между Al_2O_3 и P_2O_5 являются отрицательными на 1% уровне значимости, т.к. фосфор обычно накапливается в биогенном компоненте донных осадков [12]. Коэффициент

корреляции между Al_2O_3 и S в донных осадках оз. Пикалёво отрицательный, значимый на 1% уровне, что свидетельствует о связи серы с биогенным веществом, а в донных осадках оз. Заднего он не значим даже на 10% уровне. Корреляция между Al_2O_3 и CaO и MnO в донных осадках оз. Пикалёво низкая, незначимая, а в донных осадках оз. Заднего значимая на 5% уровне.

Выводы

Исследования состава донных осадков двух озёр Приморского района Архангельской области показали, что в озёрах Пикалёво, расположенном вдали от источников загрязнения, и Заднего, находящегося вблизи шоссе и городов Новодвинск и Архангельск донные осадки представлены пелитовыми и алевропелитовыми илами с высоким содержанием биогенного материала (более 16% в донных осадках оз. Пикалёво и > 49% в донных осадках оз. Заднего). Al_2O_3 , Na_2O , MgO, K_2O , Fe_2O_3 в основном входят в состав литогенного материала, а P_2O_5 – биогенного.

Увеличение доли литогенного материала в верхних 10 см донных осадках оз. Заднего, по-видимому, связано с возрастанием пылевой нагрузки на это озеро со стороны проходящего вблизи шоссе и расположенных недалеко крупных городов – Архангельска и Новодвинска.

Благодарности

Авторы благодарны В.К. Карандашеву за анализ макросостава донных осадков. Полевые работы были проведены при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-05-00938-а).

Литература

- [1] Богданов Ю.А., Купцов В.М., Шевченко В.П. и др. Современные потоки химических элементов из водной толщи в донные осадки озера Байкал // Доклады Академии наук. 1997, т. 352, № 1. С. 100-104.
- [2] Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С. Химический состав донных отложений озёр в зоне влияния атмосферных выбросов комбината «Североникель» // Геохимия. 2010, № 11. С. 1224-1229.
- [3] Карандашев В.К., Хвостиков В.А., Носенко С.В., Бурмий Ж.П. Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016, т. 82, № 7. С. 6-15.
- [4] Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А. и др. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей / Отв. ред. С.М. Шаповалов. М.: Научный мир, 2010. С. 559-597.
- [5] Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К. Геохимия сапропелей голоценовых разрезов из малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2019. 444 с.

- [6] МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
- [7] *Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В.* Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоёме (на примере озера Имандра). Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 127 с.
- [8] *Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Кокрятская Н.М. и др.* Геохимия донных осадков малого озера (водосбор Онежского озера, Архангельская область) // Успехи современного естествознания. 2016, № 9. С. 172-177.
- [9] *Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.
- [10] *Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др.* Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 70-107.
- [11] *Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Алиев Р.А. и др.* Геохимия донных осадков малых озёр водосбора Двинского залива Белого моря // Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». Т. III. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021. С. 180-183.
- [12] *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В.* Геохимия фосфора. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 512 с.
- [13] *Johansson K., Andersson A., Andersson T.* Regional accumulation pattern of heavy metals in lake sediments and forest soils in Sweden // The Science of the Total Environment. 1995, v. 160/161. P. 373-380.
- [14] *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. V. 3: The crust. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1-64.
- [15] *Slukovskii Z.* Geochemical indicators for paleolimnological studies of the anthropogenic influence on the environment of the Russian Federation: A review // Water. 2023, v. 15. Article 420.
- [16] *Smol J.P.* Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective. London: Arnold, 2002. 208 p.
- [17] *Strakhovenko V., Ovdina E., Malov G. et al.* Concentration level and features of the distribution of trace elements in the sapropel deposits of small lakes (south of Western Siberia) // Minerals. 2021, v. 11. Article 1210.

S u m m a r y. The study of the composition of bottom sediments of lakes is relevant, because they are natural archives, by studying which scientists learn about the characteristics of the environment at the time of the formation of a particular layer of the sedimentary strata. The authors of the report studied the grain size and macroelemental composition of bottom sediments of two small shallow lakes in the catchment area of the Dvina Bay of the White Sea (Lake Pikalevo, located 70 km west of the city of Severodvinsk, and Lake Zadnee, located 20 km southeast of the city of Arkhangelsk near highway). It is shown that the bottom sediments are represented by pelitic and aleuritic-pelitic silts with a high content of biogenic material (more than 16% in the bottom sediments of Lake Pikalevo and > 49% in the bottom sediments of Lake Zadnee). Al₂O₃, Na₂O, MgO, K₂O, Fe₂O₃ are mainly into the composition of lithogenic material, and P₂O₅ – biogenic.

**ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И
ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**
PALEOGEOGRAPHIC AND PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES

**ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ РЕЗКИХ
КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА НА ПЕРЕХОДЕ
ОТ ПОСЛЕДНЕЙ ЛЕДНИКОВОЙ ЭПОХИ К ГОЛОЦЕНУ**

О.К. Борисова, Н.Н. Нарышкина

Институт географии РАН, г. Москва, paleo_igras@mail.ru

**DYNAMICS OF PLANT COMMUNITIES IN RESPONSE TO ABRUPT SHORT-
TERM CLIMATE CHANGES AT THE LAST GLACIATION/HOLOCENE
TRANSITION**

O.K. Borisova, N.N. Naryshkina

Institute of Geography RAS, Moscow

Аннотация. Анализ изменений состава флоры в течение позднеледниковья и раннего голоцена на основе палинологических данных по разрезу оз. Долгое (56°04' с.ш., 37°20' в.д.) показал, что вплоть до пребореала в центральном регионе Восточно-Европейской равнины существовала гляциальная флора, подобная флоре максимальной стадии последнего оледенения. Под воздействием климатических колебаний изменялись только соотношение эколого-ценотических групп и состав таксонов в них. Более однородная по составу межледниковая флора сложилась в этом регионе во второй половине бореала.

Ключевые слова: гляциальная флора, позднеледниковье, пребореал, бореал.

Введение

По изменениям изотопного состава кислорода в ледяных кернах из Гренландии ([8, 9] и др.) отчетливо прослеживается серия короткопериодных потеплений и похолоданий, осложнявших собой переход от оледенения к современному межледниковью – голоцену. На позднеледниковом этапе выделяются два основных интерстадиальных потепления (бёллинг и аллерёд), чередующиеся со стадиальными похолоданиями раннего (древнего), среднего и позднего дриаса. Эти резкие климатические колебания оказывали как прямое, так и опосредованное влияние на перестройку растительных сообществ в центральном регионе Восточно-Европейской равнины от перигляциальных лесостепей, свойственных подневалдайской ледниковой эпохе [3], до бореальных лесов раннего голоцена. Анализ изменений флоры на протяжении переходного периода от оледенения к межледниковью позволяет проследить этапы и особенности развития этого процесса во времени.

Регион исследований, объекты и методы

В основу исследования положены данные спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования отложений оз. Долгое (56°04' с.ш., 37°20' в.д.), расположенного в южной части Клинско-Дмитровской гряды, где бурением

была вскрыта непрерывная серия осадков позднеледниковья, начиная с бёллинга, и всего голоцена [7]. К интересующему нас переходному интервалу в этом разрезе относится толща озерных илов мощностью около 4,5 м. Для реконструкций использованы ранее не опубликованные архивные данные об изменениях состава ископаемой пыльцевой флоры и информация об экологии, фитоценологических связях и современных ареалах входящих в нее видов растений.

Результаты и обсуждение

Позднеледниковые флоры центрального региона Восточно-Европейской равнины, как и гляциальные флоры в целом, характеризуются высоким разнообразием экологических групп растений [3]. Из числа деревьев и кустарников они включают в себя главным образом виды с широкой экологической амплитудой (*Betula sect. Albae*, *B. humilis*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies* и др.), а также микро- и мезотермные виды деревьев, обитающие в настоящее время в районах с континентальным климатом (*Pinus sibirica*, *Larix*, *Abies*). Среди трав и кустарничков присутствуют как виды лесных сообществ, так и разнообразные луговые и степные растения. Характерно также участие ксерофитов и ксерогалофитов, обитателей нарушенных грунтов и гелиофитов [2, 3]. В то же время, в состав позднеледниковой флоры входят некоторые арктоальпийские и гипоарктические растения. Одновременное присутствие во флоре центральной части Восточно-Европейской равнины видов растений, глубоко различных по экологическим требованиям и современному географическому распространению (например, *Selaginella selaginoides* и *Ephedra* sp.), типично для флор позднеледниковья, не имеющих полных современных аналогов [2, 5]. Реакция растительности на короткопериодные резкие климатические колебания в позднеледниковье и при переходе к голоцену имела комплексный характер. Она проявлялась в изменениях в составе флоры (иммиграции одних видов и выпадении других видов из фитоценозов на данной территории); изменениях в доле участия видов в существующих сообществах, вплоть до смены доминатов; в изменениях соотношения площадей, занятых различными фитоценозами; в формировании новых сообществ с участием или доминированием видов-иммигрантов. Помимо непосредственного отклика на климатические колебания, состав и структура растительности испытывали также значительное воздействие компонентов геосистем, тесно связанных с изменениями климата – многолетней мерзлоты, процессов почвообразования, осадконакопления, эрозии и проч. Большое значение имел также фактор времени – чрезвычайная краткость ряда климатических фаз при значительных амплитудах и высокие скорости потепления/похолодания на их границах.

Анализ кислородно-изотопных кривых, полученных по гренландским ледниковым кернам, показывает, что потепление на рубеже раннего дриаса и бёллинга по скорости и амплитуде не уступало потеплению на границе голоцена, которое оценивается в $10 \pm 4^\circ\text{C}$ менее чем за 50 лет [6]. Реконструкции по палеофлористическим данным для центральной части Восточно-Европейской равнины [1] указывают на повышение средней температуры января на этом

рубеже на 10-12°C при небольшом изменении летних температур. Тем не менее, даже столь значительное потепление не привело к коренным изменениям в составе флоры из-за удаленности рефугиумов, где более термофильные растения сохранялись в течение всей ледниковой эпохи. В пыльцевой флоре бёллинга из разреза оз. Долгое представлены все криофильные виды кустарников, характерные для гляциальных флор региона: *Betula nana*, *B. humilis* и *Alnaster fruticosus*, ареал которого в современных условиях почти не выходит за пределы области многолетней мерзлоты, мезофильных луговых растений мало, из числа водных и прибрежных видов присутствует только рогоз (*Typha latifolia*). Кратковременное похолодание и иссушение климата в среднем дриасе [1] привело к увеличению доли ксерофитов и растений, обитающих на участках с нарушенным или несформированным почвенным покровом, в составе флоры. В соответствующем слое найдена пыльца хвойника (*Ephedra*), терескена (*Eurotia ceratoides*), гречиши татарской (*Fagopyrum tataricum*), конопли (*Cannabis*) и др. На сокращение ландшафтной роли лесных сообществ в эту холодную фазу косвенно указывает увеличение разнообразия луговых растений, в том числе присутствие гипоарктического гроздовника северного (*Botrychium boreale*), и находки пыльцы облепихи (*Hippophaë rhamnoides*) – типичного гелиофита.

Во флоре аллерёда возрастает доля лесных видов. Помимо экологически пластичных и холодостойких древесных пород, перечисленных выше, увеличивается разнообразие мезофильных лесных травянистых растений, включая виды плаунов, характерные б. ч. для хвойных лесов (*Lycopodium annotinum*, *L. clavatum*), и папоротник орляк (*Pteridium aquilinum*). Отметим, что в слоях аллерёда в оз. Долгое, помимо пыльцы ели, обнаружены также устьица ее хвои, что указывает на распространение ели по берегам озера [4]. В тех же сообществах, по-видимому, участвовала пихта, пыльца которой позже в разрезе не встречается. Согласно реконструкции по палеофлористическим данным [1], климат аллерёда в этом регионе отличался от климата бёллинга меньшей континентальностью (столь же высокими зимними температурами при несколько более низких летних) и большей влажностью. Эта реконструкция подтверждается увеличением числа видов луговых, лугово-болотных и прибрежных местообитаний во флоре из разреза Долгое: здесь обнаружена пыльца рогоза, частухи, ежеголовки, стрелолиста и др. Из водных растений присутствуют виды урути (*Myriophyllum verticillatum*, *M. spicatum*) и рдесты (*Potamogeton* sp.). Тем не менее, в благоприятных местообитаниях по-прежнему сохранялись открытые сообщества с участием ксерофитов (*Eurotia ceratoides*), эрозиофилов (*Fagopyrum tataricum*, *Rumex acetosella*) и гелиофитов (*Helianthemum*).

В позднем дриасе новое резкое похолодание, сопровождавшееся увеличением континентальности и иссушением климата [1], привело к обеднению флоры, главным образом, за счет мезофильных лесных и луговых травянистых растений. В лесных сообществах этого времени (преимущественно березовых с участием сосны и ели) сохранялась примесь сосны сибирской и лиственницы. В слоях позднего дриаса наряду с пыльцой типичных ксерофитов

и галофильного степного вида *Plantago minuta* найдена пыльца морошки (*Rubus chamaemorus*) – типичного гипоарктического растения, – что еще раз подчеркивает своеобразную комплексность гляциальной флоры заключительной холодной стадии позднеледниковья. Резкое потепление на границе позднего дриаса и пребореала вызвало значительно большие изменения в составе флоры центрального региона Восточно-Европейской равнины, чем потепление того же масштаба на границе раннего дриаса и бёллинга. Тем не менее, эти изменения оставались в основном количественными, тогда как по набору экологических и фитоценологических групп растений палинофлора пребореала была почти идентична позднеледниковой. Из числа древесных пород с преимущественно сибирскими ареалами в пребореальной флоре сохраняется только сибирский кедр (*Pinus sibirica*); здесь впервые отмечена пыльца таких относительно теплолюбивых мезофитов, как вяз (*Ulmus* sp.) и лещина (*Corylus avellana*), однако по-прежнему присутствуют криофильные кустарниковые березы (*B. nana*, *B. humilis*) и ольховник (*Alnaster fruticosus*). Наибольшего разнообразия достигают лугово-степные, луговые, лугово-опушечные растения (*Linum* sp., *Polemonium* sp., *Sanguisorba officinalis*, *Valeriana* sp., *Thalictrum minus* и др.), виды влажных лугов, болот и прибрежных местообитаний (*Thalictrum flavum*, *T. angustifolium*, *Equisetum scirpoides*, *E. variegatum*, *Polygonum amphibium*, *Menyanthes trifoliata*). При этом в состав пребореальной флоры по-прежнему входят типичные для позднеледниковых флор ксерофиты (*Ephedra*, *Eurotia ceratoides*, *Helianthemum*), галофиты континентальных местообитаний из семейства Plumbaginaceae и обитатели нарушенных грунтов – *Chenopodium foliosum*, *Ch. angustifolium* и др.

В бореале состав основных экологических и фитоценологических групп флоры заметно упрощается: среди древесных пород, помимо видов с высокой экологической пластичностью, появляются виды, характерных для широколиственных лесов региона – *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Viburnum opulus*. Из древесных пород, распространенных в настоящее время в регионах с суровым континентальным климатом, в раннем бореале присутствует только сибирский кедр, который затем также выпадает из состава флоры. Из гипоарктических видов встречается *B. nana*, вероятно, сохранявшаяся на торфяных массивах. Сокращается число луговых видов, за исключением обитателей влажных лугов и прибрежных ассоциаций (*Alisma plantago-aquatica*, *Menyanthes trifoliata*, *Lysimachia vulgaris* и др.). Состав водных растений обогащается за счет появления более теплолюбивых видов: *Nymphaea alba*, *N. candida*, *Nuphar luteum*). Отмеченные изменения в составе флоры отражают распространение широколиственно-хвойных (южнотаежных) лесов в условиях дальнейшего потепления раннего голоцена. Из перигляциальных элементов во флоре дольше других присутствовала эфедра, пыльца которой встречалась в этом регионе вплоть до позднеатлантического времени [7]. Ее локальное распространение, по-видимому, было связано с наличием слабо задернованных хорошо прогреваемых солнцем песчаных склонов.

Выводы

В течение позднеледниковья, как в стадиальные похолодания, так и в интерстадиальные потепления в центральном регионе Восточно-Европейской равнины существовал один и тот же флористический комплекс, аналогичный по составу гляциальной флоре максимальной стадии последнего оледенения; под воздействием климатических колебаний изменялись только состав и разнообразие таксонов внутри каждой эколого-ценотической группы и соотношение групп во флоре. Наиболее богатый состав имела флора пребореала, сохранявшая групповой состав гляциальной флоры при внедрении новых, межледниковых элементов. Типичная межледниковая флора, значительно более однородная по составу, чем гляциальная (позднеледниковая) флора, сложилась в центральном регионе только во второй половине бореала.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-27-00639).

Литература

- [1] *Борисова О.К.* Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным) // *Водные ресурсы*. 2021. Т. 48. № 6. С. 664-675.
- [2] *Борисова О.К.* Палеогеографические реконструкции для зоны перигляциальных лесостепей Восточной Европы в позднем дриасе // *Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15000 лет*. М.: ИГ РАН, 1994. С. 125-149.
- [3] *Гричук В.П.* Гляциальные флоры и их классификация // *Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР*. М.: Наука, 1969. С. 57-70.
- [4] *Borisova O., Naryshkina N., Konstantinov E., Panin A.* Landscape and climate changes in the Preboreal in the northwestern European Russia // *Геоморфология*. 2022. Т. 53. N 3. С. 19-28.
- [5] *Borisova O.K., Zelikson E.M.* Vegetation and climate of Eastern Europe during the Late Glacial // *Climate and environment changes of East Europe during Holocene and Late – Middle Pleistocene*. Moscow: IG RAS, 1995. P. 14-19.
- [6] *Grachev A.M., Severinghaus J.P.* A revised $+10 \pm 4^\circ\text{C}$ magnitude of the abrupt change in Greenland temperature at the Younger Dryas termination using published GISP2 gas isotope data and air thermal diffusion constants // *Quaternary Science Reviews*. 2005. Vol. 24. P. 513-519.
- [7] *Kremenetski K.V., Borisova O.K., Zelikson E.M.* The Late Glacial and Holocene history of vegetation in the Moscow region // *Paleontological Journal*. 2000. Vol. 34. Suppl. 1. P. S67-S74.
- [8] NorthGRIP Members. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period // *Nature*. 2004. V. 431. P. 147-151.
- [9] *Yu Z., Eicher U.* Abrupt climate oscillations during the last deglaciation in central North America // *Science*. 1998. Vol. 282. P. 2235-2238.

S u m m a r y. Analysis of changes in the composition of the flora during the Late Glacial and Early Holocene based on palynological data on lake Dolgoe sediments (56°04' N, 37°20' E) showed that up to the Preboreal in the central region of the East European Plain there was a glacial flora similar to that of the Last Glacial Maximum. Under the influence of climatic fluctuations, only the ratio of ecological-coenotic groups and the composition of taxa in them changed. A more homogeneous interglacial flora developed in this region in the second half of the Boreal.

МОРСКАЯ КИСЛОРОДНО-ИЗОТОПНАЯ СТАДИЯ 3 – НЕСОСТОЯВШЕЕСЯ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

О.К. Борисова, Н.Н. Нарышкина

Институт географии РАН, г. Москва, paleo_igras@mail.ru

MARINE OXYGEN ISOTOPE STAGE 3 – FAILED INTERGLACIATION

О.К. Borisova, N.N. Naryshkina

Institute of Geography RAS, Moscow

Аннотация. Морская изотопная стадия 3 занимает особое положение в ряду теплых стадий неоплейстоцена, не являясь межледниковой по своей амплитуде. Эколого-ценотический анализ ископаемых пыльцевых флор заключительного потепления средневалдайского мегаинтерстадиала, соответствующего МИС 3 в региональной стратиграфической схеме Восточно-Европейской равнины, позволяет реконструировать последовательность перестроек в составе растительности, развивавшихся под воздействием изменений климата на переходе к максимальной стадии последнего оледенения (МИС 2).

Ключевые слова: *средневалдайский мегаинтерстадиал, ископаемая флора, эколого-ценотический анализ.*

Введение

На рубеже раннего и среднего неоплейстоцена длительность межледниково-ледниковых циклов претерпела значительные изменения, и в последние 400 тыс. лет особую выразительность приобрел цикл продолжительностью около 100 тыс. лет. Амплитуда климатических колебаний при этом существенно возросла [10]. В общей последовательности теплых и холодных стадий, которое отчетливо прослеживается на морской кислородно-изотопной кривой, резко выделяется морская изотопная стадия (МИС) 3, которая значительно уступает предшествующим теплым стадиям как по продолжительности (~30 тыс. лет), так и по амплитуде. Современное межледниковье (голоцен) также значительно теплее, чем МИС 3. В изменениях кислородно-изотопного состава льда в ледниковых кернах из Гренландии отражено чередование контрастных короткопериодных потеплений и похолоданий внутри МИС 3 ([11] и др.). В целом потепление МИС 3 имеет интерстадиальный характер и является частью единого последнего межледниково-ледникового макроцикла, ограниченного терминациями 2 и 1, который на Восточно-Европейской равнине включает в себя микулинское межледниковье и валдайскую ледниковую эпоху. Из-за сложной структуры климатических колебаний внутри этого длительного потепления оно получило особый статус мегаинтерстадиала.

Регион исследований, объекты и методы

Ландшафтно-климатические изменения, происходившие на протяжении средневалдайского мегаинтерстадиала в различных регионах Восточно-Европейской равнины, реконструированы по данным изучения разрезов в бассейнах Верхнего Днепра, Западной Двины, Ловати и др. – в основном на северо-западе европейской территории России [1-3, 7-9 и др.]. В ходе этих стратиграфических и палинологических исследований внутри мегаинтерстадиала были выявлены три основные потепления, разделенные фазами похолоданий. Немногочисленные ^{14}C датировки позволили заключить, что наиболее ярко выраженные потепления имели место в интервалах 47-42, 39-33 и 31-25 тыс. ^{14}C лет назад [9]. Заключительной теплой фазе средневалдайского мегаинтерстадиала соответствует дунаевское потепление [3, 9]. Ландшафтно-климатические условия этого потепления представляют для нас наибольший интерес, поскольку оно непосредственно предшествовало термическому минимуму позднего плейстоцена и наибольшему развитию последнего (поздневалдайского) оледенения (Last Glacial Maximum – LGM).

На территории Восточно-Европейской равнины единственным непрерывным комплексно изученным и датированным радиоуглеродным методом разрезом, охватывающим весь средний валдай и LGM, является разрез отложений Галичского озера Галич-2, где бурением была вскрыта толща озерных суглинков мощностью около 70 м [4]. В слоях, относящихся к средневалдайскому мегаинтерстадиалу, в спектрах преобладает пыльца (п.) травянистых растений. П. деревьев и кустарников составляет 20-30% общей суммы п. и спор и представлена преимущественно породами с широкой экологической амплитудой – березой (*Betula sect. Albae*), сосной (*Pinus sylvestris*) и елью (*Picea*). Постоянно присутствует п. ивы (*Salix*), ольхи (*Alnus*), микротермных кустарников (*Betula humilis*, *B. nana*, *Alnaster*), сосны сибирской, реже лиственницы и единично – пихты. Из травянистых растений преобладает п. полыни (*Artemisia*) – в среднем 20-40% спектров – при значительных содержаниях злаковых (Poaceae) и осоковых (Cyperaceae) – до 20-30% в некоторых слоях – и, реже, маревых (Chenopodiaceae) [4]. Палинологические данные по разрезу Галич-2 показывают, что на окружающей озеро территории была развита перигляциальная лесостепь, где березовые, сосновые и лиственничные леса занимали подчиненное положение, располагаясь в наиболее благоприятных местообитаниях, тогда как междуречья были заняты растительностью, близкой к современным сухим степям. В теплые фазы мегаинтерстадиала доля лесов в растительном покрове возрастала, а в открытых травянистых сообществах несколько снижалась роль ксерофитов. В LGM лесной бореальный тип растительности, который в межледниковых условиях господствует на этой территории, испытывал еще большую редукцию, однако в защищенных местообитаниях лесные сообщества из наиболее стойких пород сохранялись даже в максимум похолодания [5].

В спектрах дунаевского интерстадиала содержания пыльцы древесных пород достигают 35-45%, в основном за счет увеличения доли п. древовидной

березы до 40-60% от суммы п. деревьев и кустарников, п. ели (до 25-30%), а также п. ольховника (до 10%) и ивы. Доля п. сосны уменьшается до 10-20%. Присутствует п. лиственницы (*Larix*). Среди трав роль осоковых возрастает до 30%, а доля п. полыни несколько сокращается. Для спектров первой половины LGM, наоборот, характерно увеличение доли п. трав, в основном за счет п. полыни (до 60% п. травянистых растений) и маревых. Участие п. злаковых и осоковых сначала резко падает (до 5-10% от суммы п. трав и кустарничков), а затем вновь возрастает до 15-20%. В группе п. деревьев и кустарников преобладает п. березы (до 50%) и сосны (30%). Содержание п. сосны сибирской (*P. sibirica*) достигает 10%, п. ели – 20%. Описанные изменения в составе пыльцевых спектров отражают постепенный процесс перестройки растительности, происходивший на территории, окружающей Галичское озеро, в течение дунаевского интерстадиала.

На основе архивных палинологических данных по разрезу Галич-2 была построена флористическая диаграмма, по которой с помощью кластерного анализа были определены основные этапы изменений в составе ископаемой флоры (ИФ) на протяжении дунаевского интерстадиала и выделены три ИФ, соответствующие его ранней (ИФ1), средней (ИФ2) и поздней (ИФ3) части. Для подробной реконструкции изменений состава и структуры растительного покрова нами использована методика эколого-ценотического анализа ИФ [6]. Согласно этой методике, для каждого вида растений на основании его современных ценотических связей устанавливается принадлежность к определенным группам фитоценозов. Затем для каждой ИФ составляется таблица, в которой содержатся сведения об эколого-ценотической приуроченности всех видов этой флоры. Подсчитанное по таблице распределение видов растений по группам фитоценозов может быть представлено в форме диаграммы, где высота столбцов соответствует количеству видов данной ИФ, входящих в фитоценозы каждой группы. Этот метод позволяет проследить изменения в составе растительности даже в тех случаях, когда общий облик флоры и набор фитоценозов на исследуемой территории с течением времени не изменяются. Для удобства сравнения эколого-ценотические диаграммы по трем изученным интерстадиальным флорам и по флоре первой половины LGM были построены в едином масштабе, в процентах от общего количества видов растений, относящихся к каждой эколого-ценотической группе.

Результаты и обсуждение

Большая часть видов, составляющих пыльцевую флору на всем протяжении дунаевского интерстадиала, относится к числу элементов различных лесных сообществ, от умеренно термофильных до криофильных северобореальных и лесотундровых. Интерстадиальный ранг флоры подчеркивается присутствием древесных пород, характерных в настоящее время для регионов с континентальным климатом (*P. sibirica*, *Larix*, *Abies*, *Alnaster*) и травянистых растений с преимущественно сибирскими ареалами (*Thalictrum contortum*, *Vupleurum* sp.). В ИФ постоянно присутствуют обитатели нарушенных почв,

щепнистых и песчаных субстратов, как мезофиты, так и ксерофиты (*Ephedra*, *Cannabis* и др.) и, реже, галофильные виды. Значительную часть ИФ составляют луговые, болотные, прибрежные и водные растения.

Анализ распределения видов с разными эколого-ценотическими связями по разрезу Галич-2 показывает, что наиболее теплой была ранняя фаза дунаевского интерстадиала: в ИФ1 присутствуют такие относительно теплолюбивые водные растения, как кувшинка и кубышка, п. которых в более поздних слоях разреза не обнаружена. Доля представителей различных лесных сообществ, в особенности светлохвойных и мелколиственных лесов, в ИФ1 наибольшая из всех трех флор дунаевского интерстадиала. В эту группу входят и некоторые луговые виды, растущие также по опушкам, полянам и под пологом разреженных лесов (*Polygonum bistorta*, *Ophioglossum vulgatum* и др.). Такие обитатели тундры и лесотундры, как *Lycopodium alpinum*, *L. pungens* и *Selaginella selaginoides* в составе ИФ1, по-видимому, унаследованы от предшествующей прохладной фазы.

Во флоре средней части дунаевского интерстадиала (ИФ2) количество лесных элементов сокращается при одновременном возрастании доли обитателей болот, главным образом низинных, и переувлажненных прибрежных почв (*Alisma plantago-aquatica*, *Menyanthes trifoliata*, *Typha latifolia*). Вероятно, эти изменения отражают повышение влажности в позднюю (термогигротическую) фазу оптимума интерстадиала. В эколого-ценотическом составе флоры поздней части интерстадиала (ИФ3) доля болотных видов сокращается при увеличении доли обитателей лесотундры и тундры, а также степных видов, одновременно характерных для временных сообществ на участках с нарушенным или несформированным почвенным покровом (*Ephedra*, *Eurotia ceratoides*, *Kochia laniflora* и др.). Присутствие в ИФ3 типичных гелиофитов (*Helianthemum*, *Hippophaë rhamnoides*) и галофитов континентальных местообитаний (виды сем. *Plumbaginaceae*) указывает на похолодание, сопровождавшееся увеличением континентальности климата, и на расширение открытых сообществ. По своему эколого-ценотическому составу ИФ начала LGM близка к флоре заключительной части дунаевского интерстадиала (ИФ3) и отличается от флоры его оптимума ИФ1 только бóльшим участием степных и луговых видов (в том числе галофильных) и меньшей долей обитателей болот. В ИФ LGM входят как разнообразные элементы луговых и кустарниковых сообществ (*Botrychium lunaria*, *Polygonum bistorta*, *Sanguisorba officinalis*, *Thalictrum flavum*, *Vupleurum* и др.), так и типичные представители перигляциальной флоры – ксерофильные *Ephedra*, *Eurotia ceratoides*, *Kochia laniflora*, *Helianthemum*.

Выводы

Проведенные палеофлористические исследования для заключительного потепления среднего валдая полностью подтверждают представление о его интерстадиальном ранге. Подобно большинству потеплений разной амплитуды и длительности, дунаевский интерстадиал характеризовался отчетливо выраженной асимметрией во времени: за резким потеплением в его начале

следовала оптимальная фаза, сменившаяся затем более длительным и сложно построенным похолоданием, еще более углубившимся при переходе к максимальной стадии поздневалдайского оледенения. Палинологические и палеофлористические данные по разрезу Галич-2 убедительно свидетельствуют о постепенном развитии перестройки состава и структуры растительных сообществ на окружающей территории, отражающей отсутствие резких климатических изменений на границе МИС 3 и 2 в данном регионе.

Благодарности

Исследования проведены по теме Государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0005 (FMGE-2019-0005).

Литература

- [1] Арсланов Х.А., Бреслав С.Л., Заррина Е.П. и др. Климатостратиграфия и хронология среднего валдая северо-запада и центра Русской равнины // Плейстоценовые оледенения Восточно-Европейской равнины. М.: Наука, 1981. С. 12-27.
- [2] Борисова О.К. К характеристике растительности и климата дунаевского интерстадиала по палинологическим данным // Палинология в России. Т. 1. М., 1995. С. 124-134.
- [3] Борисова О.К., Фаустова М.А. Последовательность природных фаз валдайской ледниковой эпохи европейской части России // Палеогеографическая основа современных ландшафтов. М.: Наука, 1994. С. 17-25.
- [4] Величко А.А., Кременецкий К.В., Негенданк Й. и др. Позднечетвертичная палеогеография северо-востока Европы (по данным изучения осадков Галичского озера) // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 3. С. 42-54.
- [5] Гричук В.П. Растительность позднего плейстоцена // Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. Гл. 5. М.: ГЕОС, 2002. С. 64-89.
- [6] Зеликсон Э.М., Моносзон М.Х. Флора и растительность бассейна Оки в интерстадиальные эпохи среднего плейстоцена // Вопросы палеогеографии плейстоцена ледниковых и перигляциальных областей. М.: Наука, 1981. С. 91-110.
- [7] Спиридонова Е.А. Палинологическая характеристика межстадиальных отложений валдайского оледенения на северо-западе Русской равнины и ее значение для стратиграфии и палеогеографии // Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Л.: ЛГУ, 1970. 22 с.
- [8] Чеботарева Н.С., Макарычева И.А. Последнее оледенение Европы и его геохронология. М.: Наука, 1974. 254 с.
- [9] Чеботарева Н.С., Макарычева И.А. Геохронология природных изменений ледниковой области Восточной Европы в валдайскую эпоху // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982. С. 16-27.
- [10] Lisiecki L., Raymo M.A. Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. 2005. Vol. 20. PA1003.

[11] *NorthGRIP Members*. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the Last Interglacial period // *Nature*. 2004. Vol. 431. P. 147-151.

S u m m a r y. Marine Isotope Stage 3 occupies a special position among the warm stages of the Neopleistocene, being not a full-scale interglacial in its amplitude. Ecological and phytocenotic analysis of fossil pollen floras of the final warming of the Middle Valdai Megainterstadial, corresponding to MIS 3 in the regional stratigraphic scheme of the East European Plain, makes it possible to reconstruct the sequence of changes in the composition of vegetation under the influence of climate change at the transition to the maximum stage of the Last Glaciation (MIS 2).

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОРИЛЬСКОЙ ПРЕДГОРНОЙ ДЕПРЕССИИ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

А.В. Борцов

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, bav_mgt@mail.ru

EVOLUTION OF NATURAL CONDITIONS AND GEOCRYOLOGICAL OF THE NORILSK FOOTHILL DEPRESSION IN THE LATE NEOPLISTOCENE- HOLOCENE

A.V. Bortsov

Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. На основе полевых и опубликованных материалов приводятся представления о динамике развития природной среды региона в поздннеоплейстоцен-голоценовое время. Выполнено математическое моделирование изменения геотемпературного поля для участка в южной части депрессии за период 130 тысяч лет. По результатам моделирования получено представление о температурном режиме и динамике многолетнемерзлых пород.

Ключевые слова: *Норильская предгорная депрессия, оценка геофизиологических условий, поздннеоплейстоцен-голоценовое время.*

Введение

В Норильском районе ведется интенсивное хозяйственное освоение территории. Одним из основных факторов, затрудняющих освоение рассматриваемой территории, являются довольно сложные геофизиологические условия. Несомненно, что бывшие палеогеографические обстановки оставили след в современной криолитозоне, сформировав ее. Поэтому современная криолитозона содержит в себе черты и свойства, возникшие именно в былое время, и многие современные особенности криолитозоны могут быть поняты только в результате изучения ее пространственно-временного развития.

Регион исследований, объекты и методы

Исследуемый район расположен на юге Северо-Сибирской низменности у подножья плато Путорана. В течение позднчетвертичного времени район претерпел ряд кардинальных изменений природной среды, связанных с происходившими оледенениями, дегляциациями, трансгрессией, существованием обширного озерного водоема. Выделение основных этапов изменения палеогеографической обстановки территории и определение отклика геофизиологических условий на них в позднем неоплейстоцене и голоцене

проведено для Норильской депрессии (система озер Лама, Мелкое, р. Норильской и оз. Пясино).

Для количественной оценки геокриологических условий и динамики развития мерзлых толщ на исследуемой территории было проведено математическое моделирование изменений геотемпературного поля за период 130 тысяч лет для участка с наиболее представительным разрезом четвертичных отложений. Участок расположен в южной части рассматриваемого района – в истоке р. Норильской. Расчеты производились при помощи программы «Warm», в которой реализовано решение задачи теплопроводности методом конечных разностей. В нашем случае решалась одномерная задача теплопроводности типа задачи Стефана со смешанными краевыми условиями. На нижней границе расчетной области задавались граничные условия второго рода – постоянный тепловой поток, который на основании анализа литературных данных был принят равным $0,05 \text{ Вт/м}^2$. На боковых границах также задавались граничные условия второго рода – постоянный тепловой поток, равный 0 Вт/м^2 . На верхней границе расчетной области задавались граничные условия первого рода – температура на поверхности пород в различные моменты времени. Она представляет собой комбинацию среднегодовых температур поверхности пород в периоды субэраляльного осадконакопления, температур поверхности пород под ледником в периоды субгляциального осадконакопления и температур донных осадков в периоды субаквального осадконакопления. Температура пород при проведении математического моделирования задавалась скачкообразно. Геологический разрез принимался с учетом представления о геологическом строении участка исследований. Начальные условия задавались исходя из допущения об отсутствии многолетнемерзлых пород под морем на начальный момент времени в период трансгрессии и стационарного распределения температуры по глубине. Основные этапы, принимаемые в моделировании, следующие: казанцевская трансгрессия, муруктинское оледенение, каргинско-сартанское время, мелколамское оледенение и интервалы голоценового времени.

Результаты и обсуждение

Начало расчёта соответствует максимуму казанцевской трансгрессии (130 тыс. л.н.). Море занимало всю Северо-Сибирскую низменность и имело глубину до 100-150 м [1, 3]. В период до 115 тыс. л.н. [5, 9, 12] многолетнемерзлые породы (далее – ММП), образовавшиеся в самаровско-тазовское время [12], полностью деградировали.

После отступления Казанцевского моря начинается промерзание массива пород в субэраляльных условиях. Это промерзание связано с очень низкими температурами под муруктинским ледником (до -18°C) [2], и к началу его деградации мощность ММП достигает 450м. Далее, по мере деградации ледника (до 57 тыс. л.н.) мощность ММП несколько сокращается до значений 330-350м.

Во время дегляциации муруктинского ледника образовалось обширное Вальковское озеро, которое достигло максимального развития в каргинское время [4, 5, 6]. Оно включало в себя крупные современные озёра – Пясино, Мелкое и Лама. Данный этап характеризуется значительным оттаиванием

многолетнемерзлой толщи, что в основном связано с отепляющим влиянием Вальковского водоёма. Так, уже около 35 тыс. л. н. мощность ММП составляла порядка 70 м (на глубинах 125-195 м), а на завершающей стадии развития озера к сартанскому времени (до 24 тыс. л.н.) ММП под озером полностью деградируют.

В сартанское время (до 11 тыс. л.н.) в Норильской котловине продолжал существовать пресноводный водоем [4]. Сохранность осадков в Норильском районе свидетельствует о том, что сартанские ледники сюда не заходили. Новообразования ММП в центральной части Норильской котловины не происходило.

С конца позднесартанского времени до современности происходило постепенное снижение уровня Вальковского водоёма.

Похолодание, возникшее 11 тыс. л.н. приводит к формированию мелколамского оледенения [8]. В этот период на осушенных участках вновь происходит образование мерзлых пород (11000-10300 ¹⁴C л.н.), их мощность достигает 130 м.

Далее, в голоценовое время [7, 10, 11], в соответствии с изменениями температуры воздуха, вызванными колебаниями климата, мощность ММП несколько изменяется то в сторону увеличения, то уменьшения. Так, в голоценовый оптимум, при температуре поверхности пород 3.2°C, мощность ММП деградирует до 30 м. После оптимума происходит заметное похолодание, и температура поверхности пород понижается до -6 - -6.4 °C и к настоящему времени мощности ММП составляют порядка 130 м (при среднегодовой температуре пород -4.9 °C).

Выводы

По результатам проведенного математического моделирования было получено представление о температурном режиме и динамике многолетнемерзлых пород в наиболее важные в палеогеографическом отношении моменты времени в позднем неоплейстоцене-голоцене и установлены закономерности влияния различных палеогеографических событий на эволюцию криолитозоны и динамику ее многолетнего промерзания-протаивания.

В рассматриваемом районе в дополнение к влиянию климата, на развитие ММП оказывали влияние крупномасштабные геологические события – морские трансгрессии и покровные оледенения. При этом условия для многократной деградации ММП могли существовать не только в межледниковья, но и в ледниковые этапы также.

Наиболее интересным этапом, отличающим этот район от многих других территорий криолитозоны, является каргинско-сартанское время, во время которого образовался и существовал Вальковский водоём. В это время произошла деградация ранее сформировавшейся толщи ММП. В пределах Норильской котловины ММП имеют относительно молодой – голоценовый возраст, что объясняет незначительную мощность ММП при достаточно низких

среднегодовых температурах пород, соответствующих современному уровню теплообмена на поверхности.

Литература

- [1] Антропоген Таймыра. М. Наука. 1982.
- [2] *Кинд Н.В.* Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М., Наука, 1974. Тр. ГИН, вып. 257.
- [3] *Левчук Л.К.* Позднеплейстоценовые (казанцевский и каргинский) комплексы фораминифер севера Средней Сибири. // Четвертичные оледенения Средней Сибири. М.: Наука, 1986.
- [4] *Падерин П.Г., Деменюк А.Ф., Назаров Д.В., Чеканов В.И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Норильская. Лист R-45 – Норильск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016
- [5] *Струнин Б.М. и др.* Геологическое строение и полезные ископаемые Норильского района. Красноярск, 1987. Российский Геологический Фонд.
- [6] *Федоренко В.А.* Новые данные об оледенениях Путоранского центра (на основе материалов по Норильскому району) // Современное и древнее оледенение равнин и горных районов СССР. Л. 1978. С. 57-65.
- [7] *Andreev A.A., Tarasov P.E., Klimanov V.A., Melles M., Lisitsyna O.M., Hubberten H.-W.* Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Taymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene // *Quaternary International*, Vol. 122, Iss. 1, 2004, pp. 69-84.
- [8] *Antonov O., Bolshiyarov D., Fedorov G., Pavlov M.* Three glacial landform generations of the north-western part of Putorana Plateau // *Forth QUEEN Workshop. Abstracts*. 2000.
- [9] *Bolshiyarov D., Fedorov G.* Correlation of Late Pleistocene stratigraphic units of Taimyr Peninsula, Russian Arctic, with the oxygen-isotopic scale // *Sixth QUEEN Workshop*. Spiez, Switzerland, 24-28 May 2002. Abstracts. 2002.
- [10] *Hahne J., Melles M.* Climate and vegetation history of the Taymyr Peninsula since Middle Weichselian time - palynological evidence from lake sediments // *Land – ocean systems in the Siberian Arctic* / H. Kassens et al. (eds). 1999, pp. 407-424.
- [11] *Koshkarova V.L.* Vegetation response to global and regional environment change on the Taymyr Peninsula during the Holocene // *Polar Geography*, 1995, 19, 1, pp.145-151.
- [12] *Svendsen, J.I., Alexanderson, H., Astakhov, et al.* 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quat. Sci. Rev.* 23, 1229-1271.

S u m m a r y. Permafrost dynamics during late Neoplistocene-Holocene is estimated using mathematical modelling. The materials on paleoclimate variations and progression of geological events formed the basis of a paleogeographic scenario around which the course of change of ground surface temperature was specified.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ ЛЕДОВЫХ ПОТОКОВ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА КАРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ЩИТА

А.И. Кашдан¹, В.С. Шейнкман^{2,3}

¹*Политехнический институт Монреаля, Монреаль, Квебек, Канада, adamkashdan@gmail.com*

²*Институт криосферы Земли, ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, vlad.sheinkman@mail.ru*

³*Тюменский государственный университет, г. Тюмень*

RECONSTRUCTION OF ICE FLOW DYNAMICS IN THE EASTERN SECTOR OF THE KARA ICE SHEET

A.Y. Kashdan¹, V.S. Sheinkman^{2,3}

¹*Polytechnique Montréal, Montreal, Quebec, Canada*

²*Earth Cryosphere Institute, ³Tyumen FRS, SB RAS, Tyumen, Russia*

Аннотация. Современные наблюдения на Канадских и Гренландских ледниках показывают, что некоторые из них, с неровным, с гребнистым рельефом ложа, внезапно отступают через годы или десятилетия после начала потепления климата. Используя палеогляциологическое моделирование для ледникового щита, располагавшегося в Баренцево-Карском бассейне, авторы показывают, что в такой ситуации развитие ледников может привести к разным вариантам протекания событий. Во-первых, когда ледники сохраняются на крутых гребнях ложа неопределенно долго, а затем внезапно отступают без сопутствующего климатического воздействия (Западно-Баренцевоморский тип). Во-вторых, когда ледники лежат на пологом ложе и во время потеплений климата отступают постепенно (Карский тип).

Ключевые слова: поздний плейстоцен, Арктика, палеогляциологическое моделирование.

Введение

Потеря массы современных ледниковых щитов Антарктиды, Гренландии и Канадской Арктики ускорилась в последние десятилетия, что обусловлено растущим таянием на их поверхности и расходом ледового вещества путем откола айсбергов [10, 20, 21]. Увеличение стока с ледников частично обусловлено их отступлением по рельефно неоднородному ложу, что может инициировать положительную обратную связь, известную как «нестабильность морского ледникового щита» [24]. Однако климатическое воздействие, необходимое для запуска этого механизма, зависит от ряда других процессов, включая контрфорсирование ледникового шельфа и подледное трение [5, 12, 14]. Не все они ясно представлены в теориях устойчивости морских ледниковых покровов – даже в сложных моделях ледниковых щитов, которые используются для прогнозирования прошлых (в МИС1-2) и будущих изменений ледникового покрова. В частности, топография дна, колеблющаяся в масштабе от десятков до сотен километров, приводит к неустойчивому поведению ледника, которое не может быть точно предсказано с помощью классических теорий устойчивости морского ледникового щита [18].

Методы

По мере совершенствования методов исследования топографии подледникового ложа и отступления ледников мы узнаём, что она неровная в широком диапазоне масштабов длины [7, 9], и многие ледники Гренландии и Антарктиды претерпели процессы отступления после МИС1 [2, 22, 23]. Так,

наблюдения, на леднике Пайн-Айленд показывают, что он сохранял устойчивость до 1970-х гг. несмотря на то, что региональное потепление в этом районе океана началось в 1940-х гг. Как мы видим во многих исследованиях, значительные участки побережья Гренландии в это время также подвергались вторжению теплых океанских вод, хотя разные ледники реагировали на эти вторжения по-разному [2], причем наличие наиболее выраженных пиков рельефа ложа, связанные с краевыми ледниковыми формами рельефа, образовавшимися при отступании ледника в период после МИС2, было ключевым фактором для эволюции ледникового щита как в Гренландии, так и в Канадской и Русской Арктике. Геологические данные по разным регионам о прошлом отступлении ледников в МИС2 также демонстрируют важность типов ложа ледника в плане их реакции на изменение климата.

Подводный рельеф моря Росса в Антарктиде представлен гладкими, плоскими впадинами, разделяющими большие плато. На фоне этой ровной батиметрии фиксируются такие образования, как локализованные ледниковые формы, где отступление ледникового щита в впадине моря Росса приостанавливалось на длительные периоды времени [4].

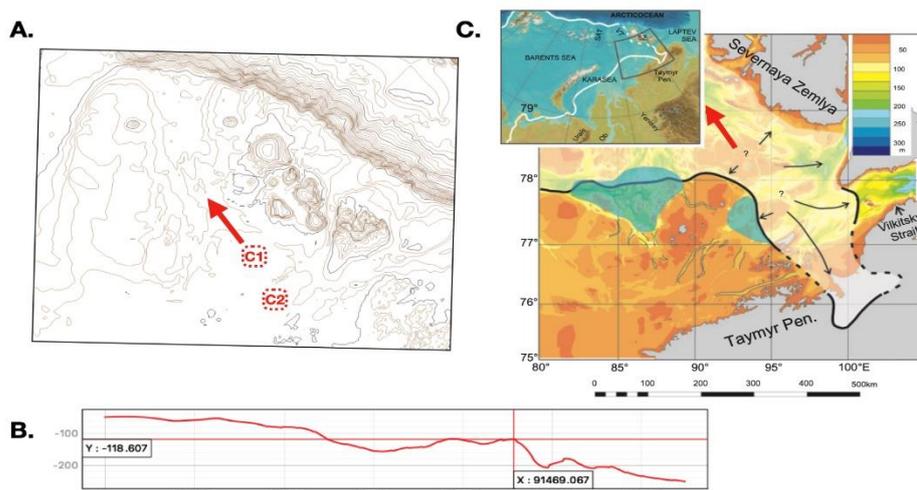


Рис. 1. а, б – движение ледникового потока (красная стрелка) и его переход в ледниковый шельф в желобе Воронина, Карское море (Карский тип). Основа – батиметрия GEBCO, версия 4.2 [6]; с – ледник имел два ледниковых купола в МИС2 [13].

Для моделирования морского ледникового щита вблизи пиков неровностей ложа нами использована одномерная модель линии потока с решением *shallow stream/shelf approximation (SSA)* и уравнения сохранения массы для определения изменений толщины льда, скорости и конечного положения, как описано в [16] и во многих других работах.

Результаты и обсуждение

Отметим, что с помощью сейсмических и литологических данных и данных палеогляциологического моделирования (рис. 2), можно определить, что отступление ледникового щита на морском шельфе может приостанавливаться на пиках ложа (краевые ледниковые формы в нашем случае). Это может происходить в течение длительного времени, даже если ледник продолжает

терять массу в ответ на текущее или предыдущее климатическое воздействие. Сохранение стабильности ледника на вершинах ложа в конечном итоге приводит к одному из двух совершенно отличных вариантов эволюции ледникового покрова.

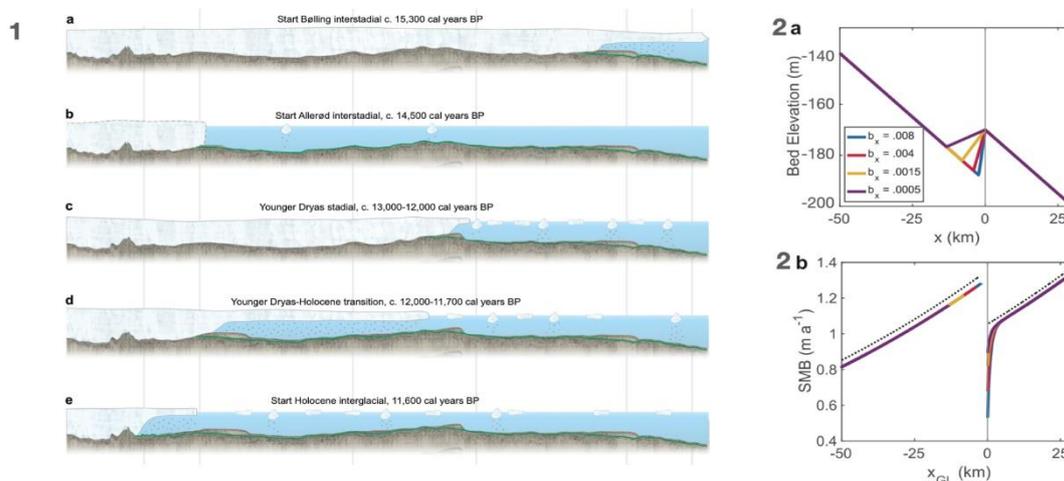


Рис. 2. Моделирование устойчивых положений фронта ледника вблизи пиков ложа до, после и во время, МИС1 (Западно-Баренцевоморский тип).

2a, b, c, d, e – пять идеализированных сценария эволюции ледника с различной топографией ложа с разными уклонами непосредственно перед, на и после пика ложа; 2f, g – диаграммы бифуркаций по Schoof (2007) и Robel et al. (2022), показывающие стационарные положения линии налегания ледника в различном диапазоне поверхностного баланса массы SMB.

Один вариант – когда ледник продолжает сохранять квазистабильное состояние без потери массы, второй – когда отступление происходит внезапно, без одновременного изменения климата и приводит к значительному ускорению потери массы, и третий – когда ледники постепенно отступают на пологих гребнях ложа при воздействии потепления океана или атмосферы. Однако, по данным современных наблюдений за устойчивостью ледников в Гренландии и Антарктиде, трудно определить, какой из этих двух возможных вариантов происходил после МИС2.

В нашей работе на основе палеогляциологического моделирования определены два основных типа: Западно-Баренцевоморский и Карский, когда под стабильностью ледника не обязательно подразумевается его устойчивое состояние в течение определенного времени. В конечном счете, неоднозначное поведение кажущихся «стабильности» или «нестабильности» ледников скрывает истинные причины прошлого повышения или понижения уровня моря в условиях значимых факторов неотектоники в МИС2.

Выводы

Палеогляциологическое моделирование для Баренцево-Карского ледникового покрова и современные наблюдения за ледниками Гренландии и Канадской Арктики показали, что ледники на гребнистом ложе имеют два возможных эволюционных сценария развития событий. Первый вариант – они

могут оставаться на таком ложе неопределенное время (т.е. стабилизироваться), или начать отступление, спустя потенциально долгое время после начала изменения климата (Западно-Баренцевоморский тип). Второй вариант – когда ледники постепенно отступают на пологих вершинах ложа из-за климатического воздействия (Карский тип).

Благодарности

Работа выполнена в рамках тем госзаданий 121041600042-7 и 121042000078-9.

Литература

- [1] Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Полудеткина Е.Н., Потемка А.К., Пирогова А.С., Аксенов А.О., Буланова И.А. и др. Первые результаты научно-экспедиционных работ в северной части Карского моря по программе плавучего университета «Обучение через исследования» (ТТР-21). Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022, (9), 233-240.
- [2] Catania G., Stearns L., Sutherland D., Fried M., Bartholomaeus T., Morlighem M., Shroyer E., Nash J. Geometric controls on tidewater glacier retreat in central western Greenland // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2018. 123(8), 2024-2038.
- [3] Christian J.E., Koutnik M., Roe G. Committed retreat: controls on glacier disequilibrium in a warming climate // *Journal of Glaciology*. 2018. 64(246), 675-688.
- [4] Greenwood S.L., Simkins L.M., Halberstadt A.R.W., Prothro L.O., Anderson J.B. Holocene reconfiguration and readvance of the East Antarctic Ice Sheet // *Nature communications*. 2018. 9(1), 1-12.
- [5] Gudmundsson G., Krug J., Durand G., Favier L., Gagliardini O. The stability of grounding lines on retrograde slopes // *The Cryosphere*. 2012. 6(4), 2597-2619.
- [6] Jakobsson M., Mayer L. A., Bringensparr C., Castro C. F., Mohammad, R., Johnson P., Zinglensen, K. B. et. al. The international bathymetric chart of the Arctic Ocean version 4.0. *Scientific data*. 2020, 7(1), 176.
- [7] Jordan T.M., Cooper M.A., Schroeder D.M., Williams C.N., Paden J.D., Siegert M.J., Bamber J.L. Self-affine subglacial roughness: consequences for radar scattering and basal water discrimination in northern Greenland // *The Cryosphere*. 2017. 11(3), 1247-1264.
- [8] Morlighem M., Williams C.N., Rignot E., An L., and others. Bedmachine v3: Complete bed topography and ocean bathymetry mapping of Greenland from multibeam echo sounding combined with mass conservation // *Geophysical research letters*. 2017. 44(21), 11-051.
- [9] Morlighem M., Rignot E., Binder T., Blankenship D., Drews R., Eagles G., Eisen O., Ferraccioli F., Forsberg R., Fretwell P. and et.al. Deep glacial troughs and stabilizing ridges unveiled beneath the margins of the Antarctic ice sheet // *Nature Geoscience*. 2020. 13(2), 132-137.
- [10] Mouginit J., Rignot E., Bjork A.A., Van Den Broeke M., Millan R., Morlighem M., Noël B., Scheuchl B., Wood M. Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018 // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. 116(19). 9239-9244.

- [11] *Newton A.M., Huuse M.* Glacial geomorphology of the central Barents Sea: implications for the dynamic deglaciation of the Barents // *Sea Ice Sheet Marine Geology*. 2017. 387, 114-131.
- [12] *Pegler S.S.* Suppression of marine ice sheet instability // *Journal of Fluid Mechanics*. 2018. 857, 648-680.
- [13] *Polyak L., Niessen F., Gataullin V., & Gainanov V.* The eastern extent of the Barents–Kara ice sheet during the Last Glacial Maximum based on seismic-reflection data from the eastern Kara Sea // *Polar Research*. 2008. 27(2), 162-172.
- [14] *Robel A.A., Schoof C., Tziperman E.* Persistence and variability of ice-stream grounding lines on retrograde bed slopes // *The Cryosphere*. 2016. 10(4), 1883-1896.
- [15] *Robel A.A., Pegler S.S., Catania G., Felikson D., & Simkins, L.M.* Ambiguous stability of glaciers at bed peaks // *Journal of Glaciology*. 2022. 68(272), 1177-1184.
- [16] *Schoof C.* Ice sheet grounding line dynamics: Steady states, stability, and hysteresis // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2007. 112, F03S28, 1-19.
- [17] *Sergienko O.V., Wingham D.* Grounding line stability in a regime of low driving and basal stresses // *Journal of Glaciology*. 2019. 65(253), 833-849.
- [18] *Sergienko O.V., Wingham D.J.* Bed topography and marine ice-sheet stability // *Journal of Glaciology*. 2021. 68(267), 124-138.
- [19] *Simkins L.M., Anderson J.B., Greenwood S.L., Gonnermann H.M., Prothro L.O., Halberstadt A.R.W., Stearns L.A., Pollard D., DeConto R.M.* Anatomy of a meltwater drainage system beneath the ancestral East Antarctic ice sheet // *Nature Geoscience*. 2017. 10(9), 691-697.
- [20] *Shepherd A., Ivins E., Rignot E., and others.* Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017 // *Nature*. 2018. 558. 219-222.
- [21] *Shepherd A., Ivins E., Rignot E., Smith B., van Den Broeke M., Velicogna I., Whitehouse P., Briggs K., Joughin I., Krinner G. and others.* Mass balance of the Greenland ice sheet from 1992 to 2018 // *Nature*. 2020. 579(7798). 233-239.
- [22] *Smith J.A., Andersen T.J., Shortt M., Gaffney A., Truffer M., Stanton T.P., Bindshadler R., Dutrieux P., Jenkins A., Hillenbrand C.D. and others.* Sub-ice-shelf sediments record history of twentieth-century retreat of Pine Island Glacier // *Nature*. 2017. 541(7635), 77-80.
- [23] *Tinto K., Bell R.E.* Progressive unpinning of Thwaites Glacier from newly identified offshore ridge: Constraints from aerogravity // *Geophysical Research Letters*. 2011. 38(20).
- [24] *Weertman J.* Stability of the junction of an ice sheet and an ice shelf // *Journal of Glaciology*. 1974. 13. 3-11.

S u m m a r y. Recent observations on the Canadian and Greenland glaciers show that some of them, with their uneven, ridged bed, suddenly retreated years or decades after the onset of climate warming. Using paleoglaciological modeling for an ice sheet located in the Barents-Kara Basin, the authors show that in such a situation, the development of glaciers can lead to different variations in the course of events. First, when the glaciers persist on the steep ridges of the bed indefinitely and then suddenly retreat without any accompanying climatic impact (West Barents Sea type). Second, when the glaciers lie on the bed and the time of climate warming retreats gradually (Kara type).

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РУССКОЙ РАВНИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ $^{230}\text{Th}/\text{U}$ ДАТИРОВАНИЯ И ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Т.А. Королева¹, Ф.Е. Максимов¹, В.Ю. Кузнецов^{1,2}, А.Ю. Петров¹,
В.А. Григорьев¹, Л.А. Савельева¹, А.П. Фоменко¹

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург

²РГПУ имени А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

GEOCHRONOLOGICAL STUDY OF LATE PLEISTOCENE LAKE-MARSH DEPOSITS OF THE RUSSIAN PLAIN USING $^{230}\text{Th}/\text{U}$ DATING AND PALEOBOTANICAL METHODS

T.A. Koroleva¹, F.E. Maksimov¹, V.Yu. Kuznetsov^{1,2}, A.Yu. Petrov¹,
V.A. Grigoriev¹, L.A. Savelieva¹, A.P. Fomenko¹

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

Аннотация. Оценка продолжительности и установление временных границ микулинского межледниковья на Русской равнине как правило базируется на косвенных данных и до сих пор является предметом дискуссий. В последние годы эти возрастные характеристики уточняются путем комплексного изучения континентальных микулинских органогенных отложений с применением методов биостратиграфии и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования. В сентябре 2022 г. проведены полевые работы на разрезе Верхние Немыкари в Смоленской области с целью получения новых данных о хронологии последнего межледниковья с применением этого подхода.

Ключевые слова: Северо-Запад Русской равнины, микулинское межледниковье, геохронология, уран-ториевое датирование, спорово-пыльцевой анализ.

Введение

Изучение климата последнего межледниковья, известного как микулинское в Восточной Европе и являющегося в определенной степени аналогом современного межледникового времени, вызывает в настоящее время большой интерес. Однако, представления о его хронологических границах и продолжительности зачастую значительно расходятся. Большинство специалистов связывают его с подстадией МИС 5e [12, 15], основываясь на данных изотопно-кислородного анализа глубоководных океанических колонок и ледовых кернов [11]. Таким образом, длительность межледниковья составляет 15 тыс. лет (130-115 тыс. л.н.).

По данным других ученых, межледниковье могло продолжаться гораздо больший промежуток времени и охватывать всю МИС 5 и завершающую фазу стадии МИС 6. Соответственно, оно продолжалось около 70-75 тыс. лет в интервале от 145-140 до 70 тыс. л.н. [6, 11].

Для идентификации микулинских слоев в осадочных разрезах используются палинологический, палеокарпологический и другие виды анализа погребенных органогенных отложений. На основе изменения состава спорово-пыльцевых спектров для Русской равнины были выделены палинозоны М1-М8, являющиеся критериями для установления межледниковых условий [1]. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ метод датирования может быть использован для изучения хронологии формирования этих отложений. Сопоставив данные этих анализов, можно

оценить хронологические границы и продолжительность микулинского межледниковья.

Исследование микулинских отложений на Русской равнине методом изохронного $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования впервые было проведено для торфяников из разрезов «Микулино» (Смоленская область), «Мурава» (республика Беларусь) и «Фили» в г. Москве [3, 4]. Общий $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрастной интервал для них с учетом погрешностей составлял от 117 до 96 тыс. лет назад, что соответствовало зонам микулинского межледниковья М7-М2.

Затем были изучены отложения из разреза «Черемошник» в Ярославской области [13, 14]. Полученные датировки связывают первую половину микулинского межледниковья (зоны М1-М4) с интервалом от 126 до 105 тыс. лет назад.

В 2020 г. коллективом лаборатории «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана им. В.П. Кеппена» Института наук о Земле СПбГУ были изучены разрезы «Нижняя Боярщина» (Смоленская обл.) и разрез на р. Большая Дубенка (Тверская обл.). Органогенная толща разреза «Нижняя Боярщина» датируется промежутком от 130 до 97 тыс. лет назад и соответствует палинозонам от конца зоны М1 до конца зоны М6.

Таким образом, результаты последних исследований, показывают, что микулинское межледниковье длилось от 125 до 96 тыс. лет назад. Однако, для уточнения его хронологических границ и продолжительности необходимо дальнейшее наращивание геохронологических данных по разрезам, включающим микулинские отложения.

Регион исследований, объект и методы

Для более подробного изучения микулинских отложений на Русской равнине в сентябре 2022 г. был изучен разрез «Верхние Немькари», находящийся в обнажении в вершине излучины левого берега р. Днепр в Смоленской области (координаты 54.67049° с.ш., 32.40617° в.д.). Были расчищены разрезы, описаны и отобраны образцы с разрешением 2-4 см для палеоботанических анализов и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования (рис. 1).

Левый борт долины р. Днепр имеет высоту 5-6 м. Во время половодий вода поднимается до бровки уступа. Крутизна склона над уступом $\sim 10-15^\circ$, иногда достигает 30° .

В разрезе представлены два слоя торфа, разделенных суглинками.

1. 3,60-3,00 м – торф бурый, серо-бурый, листоватый, с фрагментами листочков, стеблей и, по нижней границе, фрагментов древесины. В верхних 10-20 см захваты суглинка из вышележащего слоя. Слой является локальным водоупором. В верхней части – «слоистость» по цвету;
2. 2,10-1,30 м – торф буро-чёрный и чёрный хорошей степени разложения. «Слоистый» листами по 2-3 см, цвет от чёрного до бурого, листоватый.

Согласно предыдущим палеоботаническим исследованиям, нижний слой торфа имеет микулинский возраст. Палинологические данные показывают

полную смену пыльцевых спектров и указывают на закончившееся развитие межледникового озера [9].

Верхний слой торфа относится некоторыми учеными к валдайскому оледенению [1, 7], другие считают, что оба слоя торфа в этом разрезе имеют микулинский возраст [2, 8]. Поэтому было важно изучить оба слоя, чтобы определить их возможную принадлежность к микулинскому межледниковью и оценить хронологические границы.

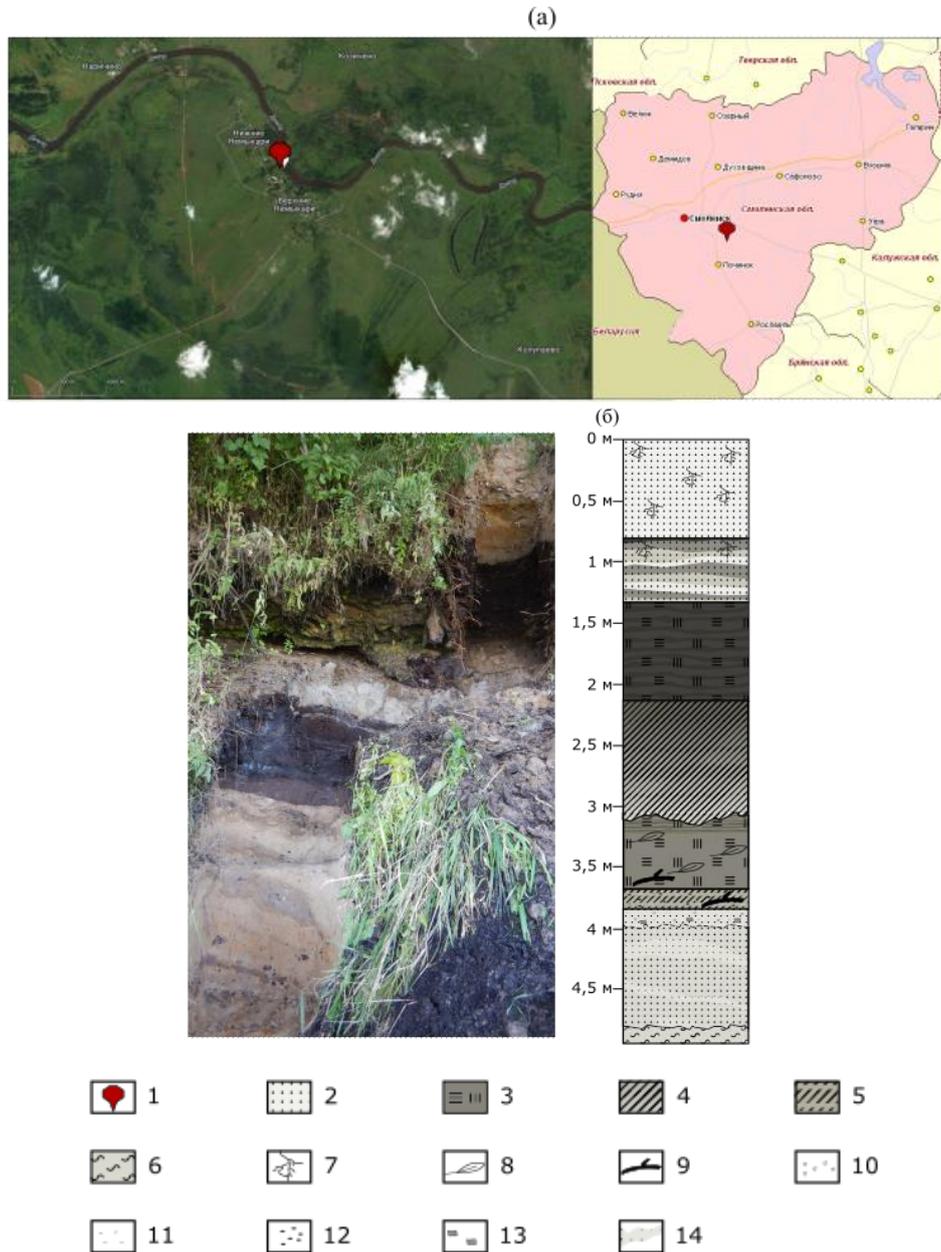


Рис. 1. Расположение разреза Верхние Немыкари (а) и строение вмещающих его отложений (б). 1 – положение разреза; 2 – песок мелкозернистый; 3 – торф; 4 – суглинок; 5 – супесь; 6 – алеврит; 7 – современные корни; 8 – фрагменты листочков и стеблей; 9 – фрагменты древесины; 10 – гравий; 11 – зерна песка грубозернистого; 12 – щебень; 13 – обломки кристаллических пород; 14 – прослой песка тонкозернистого.

Для геохронометрического изучения отложений торфа был использован изохронный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ метод датирования. Изохронное датирование представляет

собой исследование ряда одновозрастных образцов из одного слоя. Для использования метода необходимо выполнение следующих условий [4]:

1. В момент формирования отложения включают только U, из которого в результате радиоактивного распада накапливается изотоп ^{230}Th .
2. После формирования датируемые отложения должны представлять собой закрытую радиометрическую систему.

Органогенные отложения включают в себя минеральную и органическую составляющие. Именно органическая часть содержит водородный U, из которого со временем накапливается дочерний изотоп ^{230}Th , а значение отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ является мерой возраста анализируемого слоя. Минеральное (детритное) загрязнение органической составляющей образцов идентифицируется по наличию другого изотопа тория - ^{232}Th - в изучаемых образцах. При этом, минеральная фракция также содержит так называемый первичный (нерадиогенный) ^{230}Th , который и нужно исключить из расчета возраста. Для этого используется так называемое изохронное приближение, суть которого состоит в определении количества изотопов U и Th в серии одновозрастных образцов из органогенной толщи. Его применение возможно при выполнении нескольких предпосылок [5]:

1. Наличие одного и того же источника детритного изотопного загрязнения для набора образцов.
2. Сохранность закрытой системы относительно изотопов U и Th в образцах на протяжении всего постседиментационного времени.

Если данные условия выполняются для исследуемых отложений, можно рассчитать их возраст из отношений $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ по уравнению Кауфмана и Брокера [10].

Заключение

На данный момент проводятся лабораторные исследования двух слоев торфа из разреза Верхние Немыкари. Первые результаты палинологического анализа нижнего слоя торфа показали наличие в нем микулинской флоры. На основе полученных данных изучения обоих слоев будут выделены и сопоставлены с данными палеокарпологического анализа палинозоны, а изохронные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировки позволят оценить хронологические границы и продолжительность формирования микулинских отложений в разрезе Верхние Немыкари.

Литература

- [1] *Гричук В.П.* Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений Северо-Запада Русской равнины / отв. ред. К.К. Марков. М.: Изд. АН СССР, 1961. С. 25-71.
- [2] *Исаченков В.А.* Новые данные по палеогеографии и неотектонике бассейна Верхнего Днепра // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1963. №3. С. 76-79.

- [3] Кузнецов В.Ю., Максимов Ф.Е. Методы четвертичной геохронометрии в палеогеографии и морской геологии. СПб.: Наука, 2012. 191 с.
- [4] Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднелепистоценовых отложений // Вестник СПбГУ. Сер.7. 2010. Вып. 4. С. 94-107.
- [5] Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Попова С.С. и др. Хроностратиграфическое положение микулинских отложений (на примере опорного разреза у д. Нижняя Боярщина, Смоленская область). Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. (3). 447-469.
- [6] Молодьков А.Н., Болиховская Н.С. Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Северной Евразии // Материалы Всерос. науч. конф. «Марковские чтения 2010 года». М.: Географ. Фак-т МГУ, 2011. В. 3. С. 44-76.
- [7] Москвитин А.И. Вюрмская эпоха (неоплейстоцен) в европейской части СССР. М., 1950. 239 с.
- [8] Назаров В.И. Реконструкция ландшафтов Белоруссии по палеознтомологическим данным. М., 1984. 95 с.
- [9] Санько А.Ф. Неоплейстоцен северо-восточной Белоруссии и смежных районов РСФСР. Минск, 1987. 177 с.
- [10] Kaufman A., Broecker W.S. Comparison of ^{230}Th and ^{14}C ages for carbonate materials from Lakes Lahontan and Bonneville. J. Geophys. Res., 1965, vol. 70, no. 16, pp. 4039-4054.
- [11] Kukla G.J., Bond G., Broecker W.S., Gavin J.E., Bender M.L., de Beaulieu J.-L., et al. Last Interglacial Climates // Quat. Res. 2002. V. 58. № 1. P. 2-13.
- [12] Litt T., Gibbard P. Definition of a Global Stratotype Section and Point (GSSR) for the base of the Upper (Late) Pleistocene Subseries (Quaternary System/Period) // Episodes. 2008. V. 31. № 2. P. 260-263.
- [13] Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L., Simakova A., Sedov S., Maksimov F., Kuznetsov V., et al. Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia) // Quaternary International. 2015. Vol. 365. P. 26-41.
- [14] Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V., Dobrynin D., Zinovyev E., Trofimova S., Maksimov F., Kuznetsov V., Korkka M., Levchenko S. Late Pleistocene paleosols in the extra-glacial regions of Northwestern Eurasia: Pedogenesis, post-pedogenic transformation, paleoenvironmental inferences // Quaternary International, 2019. Vol. 501. P. 174-192.
- [15] Shackleton N.J. The last interglacial in the marine and terrestrial records // Proceedings of the Royal Society. London, 1969. Series B. Vol. 174. P. 135-154.

S u m m a r y. The estimation of the duration and the time limits of the Mikulino interglacial on the Russian Plain is usually based on indirect data of its age and is still the subject of discussion. In recent years, these age characteristics have been clarified by a comprehensive study of the continental Mikulino organic-rich deposits using biostratigraphy and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating methods. In September 2022, field work was carried out on the Verkhniye Nemykari section in the Smolensk region in order to obtain new data on the chronology of the last interglacial using this approach.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВАЛДАЙСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

Е.А. Кошелева

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, koshelevaelen@yandex.ru

VEGETATION OF THE PEREGLACIAL ZONE VALDAI GLACIATION OF EASTERN FENNOSCANDIA

E.A. Kosheleva

Herzen State Pedagogical University of Russia, St.-Petersburg, Russia

Аннотация. Территория Восточной Фенноскандии является уникальной: она последней освободилась от покровного Валдайского оледенения, испытала на себе стадийный характер деградации и лучше сохранила следы развития растительного покрова. Эти данные являются очень важными для моделирования и прогнозирования изменений, происходящих на территориях, где еще сохранилось или развивается покровное оледенение.

Ключевые слова: перигляциальная зона, спорово-пыльцевой спектр, перигляциальные растительные сообщества.

Введение

Термин «перигляциальная зона» широко распространен в литературе, посвященной плейстоценовому покровному оледенению. Это полоса суши шириной 100-150 км, располагающаяся вокруг окраин равнинных материковых оледенений, характеризующаяся своеобразными климатическими и ландшафтными особенностями [2]. По мере отступления ледника образовывалась новая перигляциальная зона и на ней формировался особые сообщества перигляциальной растительности. Авторы исследований называют их по-разному – перигляциальная степь, тундростепь, перигляциальная лесотундра, и т. д. И это не случайно. Дело в том, что в пределах этой полосы намечалась зональность, связанная с неоднородным влиянием ледника на районы, расположенные ближе и дальше от его края. Большинство палеоботаников ограничивают перигляциальную полосу дальностью проникновения на юг тундровых элементов при полном обезлесивании ныне лесных районов или разреживания древесных фитоценозов, смещения последних в современные степные и даже полупустынные зоны.

Материалы и методы

Территории Восточной Фенноскандии (Кольский полуостров и Карелия) – это часть крупной геологической структуры – Фенноскандинавского (Балтийского) щита, который представляет собой наиболее крупную обнаженную часть кристаллического фундамента древней Восточно-Европейской (Русской) платформы. На поверхности этой территории располагаются морфогенетические комплексы, сформированные во время существования заключительных стадий деградации ледникового покрова Валдайского оледенения, и частично сохранились представители перигляциальных палеосообществ.

В истории развития территории исследования можно выделить несколько временных интервалов, отражающих достаточно стабильные состояния климата и всей суммы природных условий.

Межстадиальные потепления бёллинг – аллерёд (ВАИС) (12,4-10,9 тыс. л.н. / 12,4-10,9 kyr BP). Совпадает с границей между изотопно-кислородными стадиями 1 и 2 (MIS 1 и 2). В пределах ВАИС выделяются межстадиальное потепление бёллинг (12,4 тыс. л.н.), похолодание среднего дриаса (12,0-11,8 тыс. л.н.) и потепление аллерёд (11,8-10,9 тыс. л.н.).

К началу этого временного интервала Скандинавский ледниковый щит сильно деградировал, сократившись до внутренней части Скандинавии. Его восточная часть таяла и отступала со средней скоростью около 200 м в год. В конце аллерёда ото льда освобождаются такие крупные озера как Онежское и Ладожское и южная часть Белого моря.

На побережье Норвегии в этот период существовали перигляциальные кустарничковые тундры с участием *Salix*, *Betula nana*, *Hippophaë*, *Juniperus* и небольшим участием сосново-березовых разреженных лесов [7].

В юго-восточной части Карелии, освободившейся от ледника еще в бёллинге (13000-12000 л.н.), существование обширных массивов мертвого льда, оставшихся в результате ареальной дегляциации и растаявших окончательно только 10000-9000 л.н., задерживало как формирование озерно-речной сети, так и развитие растительности [3, 4, 8].

Поздний (молодой) дриас (YD) (10,9-10,0 тыс. л.н. / 10,9-10,0 kyr BP). Относительно короткий период похолодания и возврат климатических условий, характерных для оледенения. Уровень моря повысился с -70 до -60 м. Ледниковый покров этого времени отмечен рядом конечных морен: в южной Норвегии – морена Ра, в Швеции – среднешведская морена, в Финляндии – Сальпаусселька, на северо-востоке России (Карелия – ругозерская и калевальская морены).

Важным событием в дриасовое время было изменение экологической зональности – эколого-климатическое районирование начинает очень постепенно приближаться к современному широтному, но благодаря позднеледниковым осцилляциям, периодическому возвращению холодных условий, этот процесс носил колебательно-поступательный характер. Определяющими векторами природных изменений было увеличение среднегодовых температур, вместе с резким ростом влажности. Распространение лесной растительности на огромных пространствах, как следует из палиноспектров финальноплейстоценовых разрезов, происходило, главным образом, за счет кустарников и березы – наиболее адаптивных древесных пород. Вторым эшелонем выступал хвойный лес, причем в относительно ксерофитных районах первое место среди хвойных пород принадлежало сосне, а во влажных условиях первенствовала ель.

В этот период на территории Скандинавского полуострова, севернее 58° с.ш. произрастали кустарничковые тундры с участием *Salix*, *Betula nana*, *Lycopodium*, *Sphagnum*, *Bryales* и небольшим участием сосново-березовых

разреженных лесов. Юг Скандинавского полуострова, между 61 и 67° с.ш. занимала лесотундра, представленная сочетанием сосново-березовых лесов с участием *Populus*, *Juniperus*, *Hippophaë rhamnoides* и тундрово-растительных ассоциаций [7].

На территории Карелии широкое распространение имели различные перигляциальные сообщества с арктоальпийскими и степными видами. Существенно увеличилась роль тундровых ценозов и, соответственно, гипоарктических и арктоальпийских элементов флоры [4].

Пребореал и бореал (РВ – ВО (10,0-8,0 тыс л.н. / 10,0-8,0 kyr BP) охватывает начало голоцена. Ледниковый щит в Скандинавии продолжает таять. Север Швеции (район Ботнического залива), согласно радиоуглеродным датировкам торфяных и озерных отложений, освободился ото льда приблизительно 8700 ¹⁴C л.н. [7].

На протяжении пребореального периода роль ксерофитов, галофитов, видов, характерных для несформированных и нарушенных грунтов, а также в целом арктических, арктоальпийских, гипоарктических и степных элементов флоры уменьшилась. При этом существенно возросло значение бореальных видов [6].

Основным источником информации при реконструкции преобладающего типа растительности являются данные спорово-пыльцевого анализа. Этот метод уже многие десятилетия применяется для реконструкции палеоландшафтов, динамики экосистем в плейстоцене и голоцене и взаимодействия человека и среды. Кроме этого, используются данные по рецентным спектрам для различных зон, отмечается присутствие в спектре индикационных видов, характеризующих определенные фитоценозы.

Фактический материал довольно скуден. Базальные слои большинства изученных и представленных в литературных источниках разрезов озерно-болотных отложений датированы второй половиной аллереда. Сложные природно-климатические условия в аллереде и позднем дриасе создали специфические условия и разнообразные местообитания для расселения растений.

Например, для территории южной Карелии (Олонецкое плато) только 4 спорово-пыльцевые диаграммы характеризуют отложения позднеледникового. Это диаграмма донных осадков оз. Малое Безымянное [4], отложения малых озер – Суярлампи, Гурвич, Четырехверстное [5].

При анализе этих данных можно выделить следующие типы перигляциальных палеосообществ (ПС) [4]:

1. Перигляциальные полынно-маревые ПС и перигляциальные ПС с галофитами. Основные виды: *Artemisia* (полынь), *Chenopodiaceae* (сем. Маревые), *Atriplex praecox* (Лебеда ранняя), *Atriplex nudicauius* (Лебеда голостебельная (лапландская)), *Saiicornia herbacea* (Солерос европейский), *Salsola kali* (Солянка калийная).

2. Перигляциально-разнотравные ПС– наследуют растительность полынно-маревых ПС с добавлением других растений: *Plantaginaceae* (сем. Подорожниковые), *Ephedra* (Эфедра), *Ericaceae* (сем. Вересковые (Эриковые)).

3. Перигляциальные галофитные ПС. Основные виды: *Hippophae rhamnoides* (Облепиха), *Salsola kali* (Солянка калийная), *Kochia prostrata* (Кохия стелющаяся), *Plantago maritima* (Подорожник морской), *Cyperaceae* (сем. Осоковые), *Poaceae* (сем. Мятликовые)

В позднеледниковье повсеместно распространились тундростепи – тип ландшафта, который не известен в современности. Для тундростепи было характерно господство травянистой степной растительности при постоянном присутствии кустарничковых и тундровых ассоциаций, а также смешанных лесных сообществ в защищенных от ветра балках и поймах рек.

Выводы

1. Отсутствуют полноценные данные по озерным и болотным отложениям Восточной Фенноскандии на позднеледниковье и ранний голоцен.

2. Растительность перигляциальной зоны отличалась большой мозаичностью и во многом зависела не только от климатических особенностей, но и от рельефа, литологического и химического состава отложений, эволюции озер.

3. В спорово-пыльцевых спектрах присутствует большое количество переотложенной и занесенной пыльцы, особенно древесных форм, что затрудняет определение растительного палеосообщества.

4. В литературных источниках содержатся спорово-пыльцевые диаграммы, построенные разными методами и интерпретируемые разными специалистами. Это значительно усложняет процесс анализа данной информации.

Благодарности

Исследование выполнено по теме госзадания 2023-2025 VRFY-2023-0010 «Эволюция озерного осадконакопления в условиях меняющегося климата».

Литература

[1] Алексеева Л.И. Териофауна верхнего плейстоцена Восточной Европы (крупные млекопитающие) // Труды ГИН АН СССР; Вып. 455. М.: Наука, 1989. 109 с.

[2] Геологический словарь: в 2-х томах. М.: Недра, 1978.

[3] Демидов И.Н., Лаврова Н.Б. Строение четвертичного покрова бассейна р. Водлы (Восточная Карелия) и особенности развития растительности в поздне- и послеледниковье // Национальный парк «Водлозерский»: природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск, 2001. С. 49-60.

[4] Елина Г.А., Лукашов А.Д., Юрковская Т.К. Позднеледниковье и голоцен восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография). Петрозаводск, 2000. 242 с.

[5] Лаврова Н.Б. Некоторые особенности состава спорово-пыльцевых спектров позднеледниковых отложений Олонецкого плато // Геология и полезные ископаемые Карелии Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 183-188.

[6] Кошелева Е.А. Эволюция ландшафтов бореальной зоны в позднеледниковье и голоцене: монография. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2012. 158 с.

[7] Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24-8 тыс.л.н.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 560 с.

[8] Wohlfarth B., Schwark L., Bennike O., Filimonova L., Tarasov P., Bjorkman L., Brunnberg L., Demidov I., Possnert G. Unstable early-Holocene climatic and environmental conditions in northwestern Russia derived from a multidisciplinary study of a lake-sediment sequence from Pichozero, southeastern Russian Karelia. II The Holocene. 2004. Vol.14. N 5. P. 732 -746.

S u m m a r y. The territory of Eastern Fennoscandia is unique: it was the last to free itself from the Valdai glaciation, experienced the stadial character of degradation and better preserved the traces of the development of the vegetation cover. These data are very important for modeling and predicting the changes taking place in areas where glaciation is still preserved or developing.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО УЧАСТКА КАЛИНИНГРАДСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Г.С. Михневич, Е.В. Моданова, Л.С. Ордина, В. Рачипа

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, mi78galina@mail.ru

FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE NORTHWESTERN PART OF THE KALININGRAD PENINSULA

G.S. Mikhnevich, E.V. Modanova, L.S. Ordina, V. Rachipa

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Аннотация. Одной из особенностей геологического строения северо-западного участка Калининградского п-ова являются «диршкаймские пески» – специфические глауконито-кварцевые мелкозернистые песчаные отложения, характерные только для данной местности. На основе архивных, исторических данных и полевых исследований охарактеризован их гранулометрический и минералогический состав, определены условия залегания и особенности распространения; предложена гипотеза их формирования за счет переотложения палеогеновых отложений тальми водно-ледниковыми потоками.

Ключевые слова: четвертичные отложения, диршкаймские пески, гляциодислокации, Калининградская область, обнажения.

Введение

Геологическое строение Калининградской области в общих чертах достаточно простое, однако существует множество нюансов, разнообразящих условия ее отдельных территорий. В северо-западной части Калининградского (Самбийского) п-ова к ним можно отнести наличие в поверхности дочетвертичных отложений глубоких палеоврезов и денудационных останцов, проявления гляциотектоники и др. Свообразием и уникальностью, помимо янтареносной «голубой земли», характеризуются верхнеэоценовые отложения фации крант и так называемые «диршкаймские пески»; возраст, генезис и условия залегания последних имеют дискуссионный характер. Целью работы является комплексное описание «диршкаймских песков» характерных только для северо-запада Калининградского п-ова, установление их возраста и генезиса.

Объекты и методы

Объектом исследования являются «диршкаймские пески» (ДП). Название отложений произошло от немецкого наименования современного пос. Донское – Гросс Диршкайм (Gross Dirschkeim), расположенного в северо-западной части Калининградского (Самбийского) п-ова южнее мыса Таран (рис. 1). Термин впервые был введен научную практику в 1867 г. проф. Е.Г. Цаддахом в работе «Третичные отложения Замланда» [5].

Исследования охватывают территорию предполагаемого распространения ДП: участок побережья от мыса Таран до урочища Бакалино (рис. 1). В ходе полевых работ были произведены описания берегового абразионного уступа, на котором обнажается толща ДП, были отобраны образцы обложений, проведен их гранулометрический и минералогический анализ. Для более полного понимания ситуации использовались архивные и исторические данные.

Результаты исследования

Состав «диршкаймских» песков

ДП – это серо-зеленые, тонко- и мелкозернистые, яснослоистые, богатые глауконитом пески несколько волнистого залегания. В основном демонстрируют косую слоистость; содержат включения полевошпатовых песков, иногда гравия. Обычно слои мелкозернистого песка толщиной около 10-20 см чередуются с тонкими прослоями глинистой слюды, часто известковистыми. Судя по буровым данным, с глубиной мощность глинистых слоев и общее содержание карбонатов увеличивается [4].

Диршкаймские отложения в массе своей представлены хорошо сортированными пылеватыми мелкозернистыми песками. Доля фракции 0,1-0,25 мм составляет 36-79%. Коэффициент сортировки 1,3-2,7, медианный диаметр 0,10-0,14 мм. Во всех фракциях преобладает кварц. Во фракциях более 1 мм и 0,5-1,0 мм кварцевые зерна хорошо окатаны, поверхность их кавернозная, иногда покрыта коркой гидроокислов железа, глин. Фракция 0,25-0,5 мм: более крупные зерна кварца окатанные, более мелкие – угловатые; в большом количестве присутствует прозрачная или бледно-дымчатого цвета слюда и зеленые зерна глауконита. Последние часто агломерируются с кварцем, создавая «агрегаты». Также отмечаются единичные зерна фосфорита и янтаря. Фракция 0,1-0,25 мм: кварцевые зерна (белые или бесцветные) имеют угловатый вид; количество глауконита возрастает (в сравнении с более крупными фракциями), в большом количестве присутствуют листочки слюды. Отмечаются единичные зерна янтаря. Во фракции <0,1 мм количество глауконита возрастает, слюда присутствует в изобилии. Кварцевые зерна угловатые и плохо окатанные. В целом по минеральному составу ДП аналогичны глубже залегающим образованиям палеогена.

Распространение и условия залегания

Диршкаймские пески распространены, главным образом южнее мыса Таран – близ пос. Донское (немецкий Gross Dirschkeim), Марьинское (Marscheiten), Бакалино (Kreislacken) (рис. 1).

ДП обнажаются в абразионных уступах от бухты близ Розенорта до пос. Донское и далее до выступа берега близ Марьинское и потом до Бакалино (до линии нарушения, расположенной южнее) в общей сложности на дистанции около 5 км.



4

Рис. 1. Схема района исследования.

По результатам исследования строения берегового уступа оказалось, что севернее оврага пос. Донское ДП обнаруживаются на расстоянии около 2 км (рис. 1), за исключением небольшого 100-метрового участка, где ДП прикрыты дислоцированными моренными отложениями. В общем геологическое строение этого северного участка достаточно простое: ДП видимой мощностью до 15-20 м перекрываются сверху моренными отложениями. Далее на север расположена бухта Розенорт, где в XIX веке проводилась добыча янтаря; в процессе добычи абразионный уступ был обрушен и сформировалась карьерная впадина, заполненная обвальными осипными массами и отвалами (рис. 1). В бухте Розенорт диршкаймские пески присутствуют, однако находятся они в стенке старого карьера, заросшей растительностью и со стороны берега не заметны. Севернее бухты Розенорт диршкаймские отложения не наблюдаются.

Южнее пос. Донское залегание ДП имеет более сложный характер. Непосредственно в овраге пос. Донского располагается изолированный массив

(гора Гальгенберг) сложенный практически полностью ДП (с прослоями коричневых глин и «карманами» песков). В южной части горы Гальгенберг хорошо заметно, что обычно горизонтально залегающий диршкаймский песок подпирается моренной валунной глиной. Далее ДП присутствует в строении склона, кровля его находится на отметках +18-20, нижняя часть скрыта под мощными осыпями; сверху ДП перекрываются мореной мощностью 5 и более м.

На Бакалинском выступе на расстоянии почти 900 м. ДП отсутствуют. На северном его фланге ДП уступают место дислоцированным отложениям палеогена, неогена и плейстоцена (около 250 м) [1], а сам Бакалинский выступ и его южный фланг на дистанции около 600 м сложен моренными отложениями.

Второй большой участок выходов ДП в береговом обрыве (около 1000 м) находится близ Бакалино (рис. 1). На расстоянии около 150 м они обнажаются в береговом уступе непосредственно от уровня моря. По немецким данным [3], распространялись они и далее на юг еще 800 м до вреза крупного Крайслакенского оврага (54°55' с.ш., 19°56,4' в.д.).

Распространение ДП на северо-западном участке Калининградского п-ова по результатам буровых работ начала 20 века показано на рисунке 1. ДП пески образуют отложения мощностью до 70 м в глубоко эродированных долинах или желобах дочетвертичной поверхности (рис. 2). Как видно диршкаймские отложения неповсеместны. На примере скважин в овраге пос. Донское (рис. 2) и Бакалино видно, что они врезаются в плейстоценовые образования, в том числе в мощные гравийно-галечные пески («диршкаймская галька»), которые очевидно сами являются продуктом размыва более древних морен и залегают на дочетвертичных образованиях (палеогеновых, а в случае Бакалино, возможно, непосредственно на меловых). Самая значительная мощность диршкаймских отложений была выявлена в скв. V близ Бакалино, пробуренной в 1912-13 гг. на пляже на абс. отм +2 м, 46 м северо-восточнее нарушения (рис. 1). Общая мощность диршкаймских отложений, включающих и диршкаймский песок (44,7 м) и диршкаймскую гальку (39,1 м), составила 83,8 м [4].

Обсуждение результатов

Перечисленные характеристики диршкаймских отложений позволяют предположить, что их формирование произошло в среде водного потока, характеризующегося небольшой скоростью, а местами и вообще испытывавшего торможение (об этом говорит наличие прослоев «диршкаймских глин»). Размеры частиц, характер слоистости свидетельствует в пользу этой гипотезы. Состав этого серо-зеленого мелкозернистого, богатого глауконитом, песка следует рассматривать как продукт перемывания и переотложения эоценовых отложений. Ярким различием является приобретение ДП с глубиной сильной карбонатности.

Можно предположить, что на исследуемом участке есть три ареала распространения ДП, связанных с эрозионными врезами (или взаимосвязанной системе врезом). Самый крупный – северный – ареал протягивается субмеридионально с севера от бухты Розенорт на юг до выступа Бакалино и от берега Балтийского моря на западе до среднего участка оврага пос. Донское (рис.

1-2). Второй ареал, который, по-видимому, сильно пострадал от напорного давления ледника и может представлять собой большой отторженец, располагается близ оврага южнее Бакалинского выступа (рис. 1). Третий – самый южный ареал ДП начинается на уступе между двумя оврагами Крайслакена (рис. 1). Поскольку сейчас ДП в силу стабилизации берегового склона естественным образом не обнажается, в его характеристике приходится полагаться на данные немецких ученых.

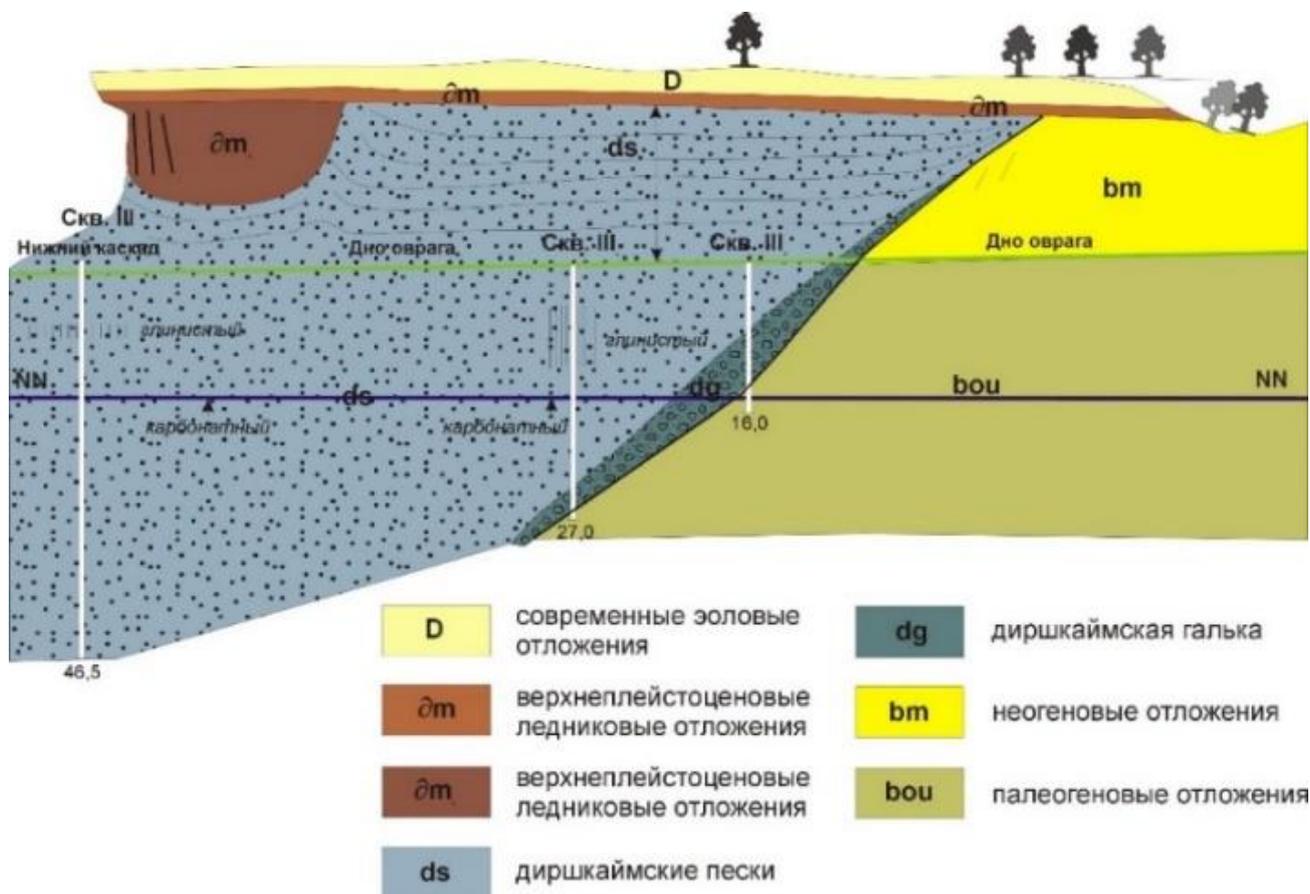


Рис. 2. Геологический профиль северного склона оврага пос. Гросс-Диршкайм (Донское) [4].

Интересно, что отложения аналогичные «диршкаймским пескам», были обнаружены в процессе террасирования аварийного абразионного уступа в Филинской бухте в конце 80-начале 90-х гг. прошлого века. В процессе срезки берегового уступа было сформировано обнажение, расположенное перпендикулярно береговой линии. Здесь под толщей морены были обнаружены серые тонкие пылеватые «лессовидные суглинки» с обильными включениями слюды. Внутри толщи видны редкие песчаные прослои мощностью несколько сантиметров. По мнению В.В. Орленка монотонная толща мощностью до 30 м формировалась в запруженных палеодолинах за счет эолового и водного разноса тонкого материала краевых моренных гряд [2]. На геологической карте, изданной в 1914 г., выходы ДП, показаны по долине ручья, впадающего в Филинскую бухту (ручей Шинграбен) [3]. Таким образом, можно думать, что зона распространения «диршкаймских песков» также охватывает район восточнее мыса Таран.

Проблематичным является возраст ДП. Хотя немецкие ученые и указывают на то, что ДП являются самыми древними среди плейстоценовых образований региона [4], достоверно это подтвердить невозможно. Отмечающееся в некоторых случаях залегание ДП между двумя моренами может являться следствием гляциодислокационного процесса.

Выводы

Образование диршкаймских песков вероятно стало следствием размыва дочетвертичных (эоценовых и миоценовых) отложений водно-ледниковыми потоками. Об этом свидетельствует состав диршкаймских песков, особенности текстуры отложений, распространение отдельными изолированными ареалами, тяготеющими к желобообразным углублениям дочетвертичного рельефа. Возраст отложений плейстоценовый, однако уточнить его на основании имеющихся данных не представляется возможным.

Литература

- [1] Бискэ Ю.С., Конопелько Д.Л., Фидаев Д.Т., Захарьева Е.В. Гляциодислокации северо-западного побережья Самбийского полуострова (Калининградская область) // Вестник СПбГУ, 2012. Сер. 7. №. 4. С. 59-64.
- [2] География Калининградского региона. Полевая общегеографическая практика: Учебное пособие / Науч. ред. Орленок В.В. Калининград: Калинингр. ун-т., 2007. 264 с.
- [3] Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Gr. Dirschkeim / Bearbeiter E. Meyer. Berlin: Pr. Geol. Landesanstalt., 1914.
- [4] Meyer E. Erläuterungen zur Geologischen Karte Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 178. Blatt Gross-Dirschkeim. Gradabteilung 178, №. 4. Berlin, 1914. 160 p.
- [5] Zaddach E.G. Das Tertiargebirge Samlands // Schr. physik.-ökonom. Ges. Königsberg. 1868. Bd. 8. P. 85-197.

S u m m a r y. One of the features of the geological structure of the northwestern section of the Kaliningrad Peninsula is the «dirshkaym sands» - specific glauconite-quartz fine-grained sand deposits, characteristic only for this area. On the basis of archival, historical data and field studies, their granulometric and mineralogical composition is characterized, the conditions of occurrence and distribution features are determined; a hypothesis is proposed of their formation due to the redeposition of Paleogene sediments by melted water-glacial flows.

ПАНЦИРНЫЕ ГЛИНЯНЫЕ ШАРЫ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИНЕВСКОЙ НИЗМЕННОСТИ КАК ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОПОТОКОВ

Р.В. Паранин

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

ARMORED CLAY BALLS IN THE QUATERNARY DEPOSITS OF THE PRINEVA LOWLAND AS INDICATORS OF PALEOFLOWS

R.V. Paraniin

Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia

Аннотация. Впервые на территории Приневской низменности автором статьи найдены панцирные глиняные шары – сферические псевдоконкреции. В статье описаны геологические условия их залегания (в карьерах завода «Эталон» и ЛСР «Базовые»), проанализированы особенности их химического состава, внешнего вида и внутреннего строения. На основе полученных фактических данных сделан вывод о проявлении мощных палеопотоков в развитии территории Приневья в неоплейстоцене и голоцене.

Ключевые слова: псевдоконкреции, панцирные глиняные шары, Приневская низменность, палеопотоки.

Введение

В данной статье представлены характеристики сферических псевдоконкреций, собранных автором в карьерах завода «Эталон» (пос. Свердлово) и строительной компании ЛСР (карьер «33 км»). Цель проведенных работ – уточнение условий седиментации на территории Приневской низменности в неоплейстоцене – голоцене.

В геологическом словаре [2]: «Конкреции ложные (псевдоконкреции) – включения в породы, внешне похожие на конкреции, но отличающиеся от них происхождением например, глиняные катуны, овалоидная отдельность и др.»; «Окатыши (катуны) глиняные (аргиллитовые) – окатанные обломки глинистых пород, образовавшиеся при разрушении тонких прослоев этих пород в оврагах, на берегах рек, озер и морей в результате периодического воздействия волн, паводков, штормов и т.п.»

По Ф.Дж. Петтиджону псевдоконкреции, (*панцирные глиняные шары*,) – механически соединенные первичные образования, диаметр от 0,1 см до 20-50 см. Это – крупные сферические кома глины, которые облекаются и бронируются мелким гравием. Панцирь – слабо сортированная смесь песка и гравия, внутренняя часть – относительно чистая глина или алеврит. Масса панциря составляет от 17,1 до 44% шара. Их находят *в потоках с большим перепадом высот*, в частности, в ливневых потоках. Они также *встречаются на пляжах* и особенно *типичны для плейстоценовых ледниковых зандровых отложений* («тиллевые шары»). Первые описания панцирных глиняных шаров относятся к XIX в. они сделаны в пустынях США [6]. К настоящему времени найдены в Северной Америке (Калифорния, Аризона, Нью Мехико, Оклахома), Южной Америке (Эквадор, Тринидад), Австралии. В Европе панцирные шары известны в паннонских отложениях Гарца, в Польских Карпатах, Румынии, в Киевской и Харьковской областях, на Апшеронском и Керченском полуостровах на

Северном Кавказе. В Азии они установлены в пролювиальных отложениях Джунгарского Алатау, на Малом Балхане Туркменистана. Считается, что в гумидном климате панцирные шары не встречаются потому, что при частых ливневых дождях они не могут долго сохраняться [1, 3].

Зависимость формы глиняных шаров от геологических условий их формирования детально описывает Х. Таннер [7]: «Их происхождение в речных средах, в которых перенос глинистых масс вниз по течению приводит к образованию почти сферической формы, давно признано. Кроме того, их происхождение было задокументировано на береговых линиях озер и в морской среде, где колебательное движение от действия волн создает больше удлиненных форм. О появлении бронированных грязевых шаров в приливной зоне мегаприливных побережий сообщают Томпсон (1968) и Стэнли (1969). Панцирные грязевые шары в приливно-отливной зоне бассейна Минас (около Нижних пяти островов) были описаны Стэнли, который заметил следующее: 1) тенденцию к лопастным и удлиненным формам грязевых шаров; 2) тенденцию к увеличению округлости грязевых шаров по мере удаления от отметки прилива; и 3) предпочтительную ориентацию длинных осей грязевых шаров параллельно береговой линии. Сообщений о появлении бронированных грязевых шаров в древних условиях немного, хотя бронированные грязевые шары юрского возраста были описаны в аллювиальных конусовидных отложениях бассейна Дирфилд».

На основании литературных данных об условиях, в которых описаны современные находки панцирных глиняных шаров, псевдоконкреции, обнаруженные в четвертичных отложениях правобережной части Приневской низменности, могут быть интерпретированы как индикаторы гидрологических условий в прошлом – свидетельство работы значительных по силе палеопотоков.

Объекты и методы исследования

Коллекция панцирных глиняных шаров собрана в коричневых ленточных глинах, вскрытых на дне карьера завода «Эталон» (59,80553 с.ш. 30,67462 в.д., 15-20 м ниже у.м.) и в песчаных отложениях карьера «33 км» ЛСР «Базовые» (59,924 с.ш., 30,85642 в.д., 17 м над у.м.). Форма шаров от сферической до уплощенной или слегка вытянутой. Диаметр наиболее правильных шаров около 5 см. Длина вытянутых форм – около 10 см. Поверхность бронирована материалом разной крупности – от среднезернистого песка до мелкого гравия.

Экземпляры, включенные в коричневые ленточные глины, тесно соседствуют с дисковидными конкрециями и валунным материалом, по внешнему виду напоминают гальку средних размеров и, возможно, по этой причине не были замечены исследователями ранее (рис. 1 а). Как и валунный материал, они сухие, плотные и тяжелые, но отличаются более сферической формой и выступами гравийных включений (до 1 см). Глиняные шары песчаного карьера (рис. 1 б) бронированы более мелким материалом (крупнозернистым песком), очень пластичные – в разрезе легко рассекаются лопатой, при высыхании в помещении распадаются на части (некоторые плоскости расколов параллельны поверхности).

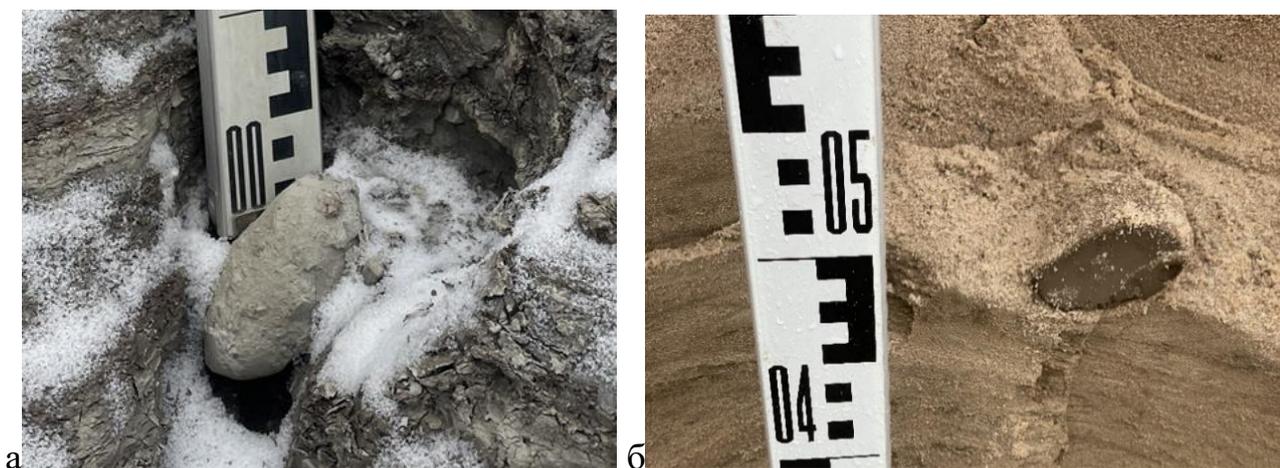


Рис. 1. Местонахождение сферических псевдоконкреций: а – в коричневых ленточных глинах, карьер завода «Эталон»; б – в песчаном карьере ЛСР «33 км».

Внутреннее строение псевдоконкреций рассмотрено под бинокулярной лупой на шлифованном срезе. Химический состав определен в лаборатории Геохимии окружающей среды имени А.Е. Ферсмана факультета географии им. А.И. Герцена на аппарате Спектрометр рентгеновский кристалл-дифракционный вакуумный «Спектроскан Макс GV».

Результаты и обсуждение

Панцирные глиняные шары из глиняного и песчаного карьеров.

Панцирные шары из карьера «Эталон» расположены в слоях коричневых ленточных глин позднелейстоценового времени [4]. Они окаменелые, бронированы мелким гравием. На шлифованном срезе заметны также включения гравийного материала, погруженные в разной степени (рис. 2). Несколько вытянутая форма свидетельствует об участии в их формировании волнового движения (мелкая рябь на пластинах ленточных глин обнаруживается при их механическом расслоении на пластины). Химический состав панцирных шаров глиняного карьера близок к составу глинистых карбонатно-марганцевых конкреций, находящихся в том же слое – в них повышено содержание СаО и МпО, что позволяет называть их сферическими конкрециями [5]. Можно предположить, что длительное пребывание в толще осадочных пород сопровождалось процессами их минерализации.

Глиняные шары песчаного карьера расположены в отложениях голоценового времени, они весьма неустойчивы – пластичны во время извлечения из толщи песка и раскалываются при высыхании (рис. 3). По результатам рентгенфлуоресцентного анализа практически не содержат СаО и МпО (рис. 4). Их характеристики полностью соответствуют описаниям псевдоконкреций. Причиной их сохранности могло быть быстрое захоронение в песчаной толще.

Глиняные шары как индикаторы палеопотока, Глиняные шары используются для оценки скоростей палеопотоков, характера материала ложа, расстояния до области питания [6, с. 599].



Рис. 2. Панцирные глиняные шары из ленточных глин карьера «Эталон»: уплощенная форма (в трех проекциях); вытянутая – поперечный разрез и вид с торца.



Рис. 3. Панцирные глиняные шары из песчаного карьера «33 км»: 1 – вид сбоку, 2 – вид сверху (крупный экземпляр – на рис. 1 и 5, в стенке разреза).

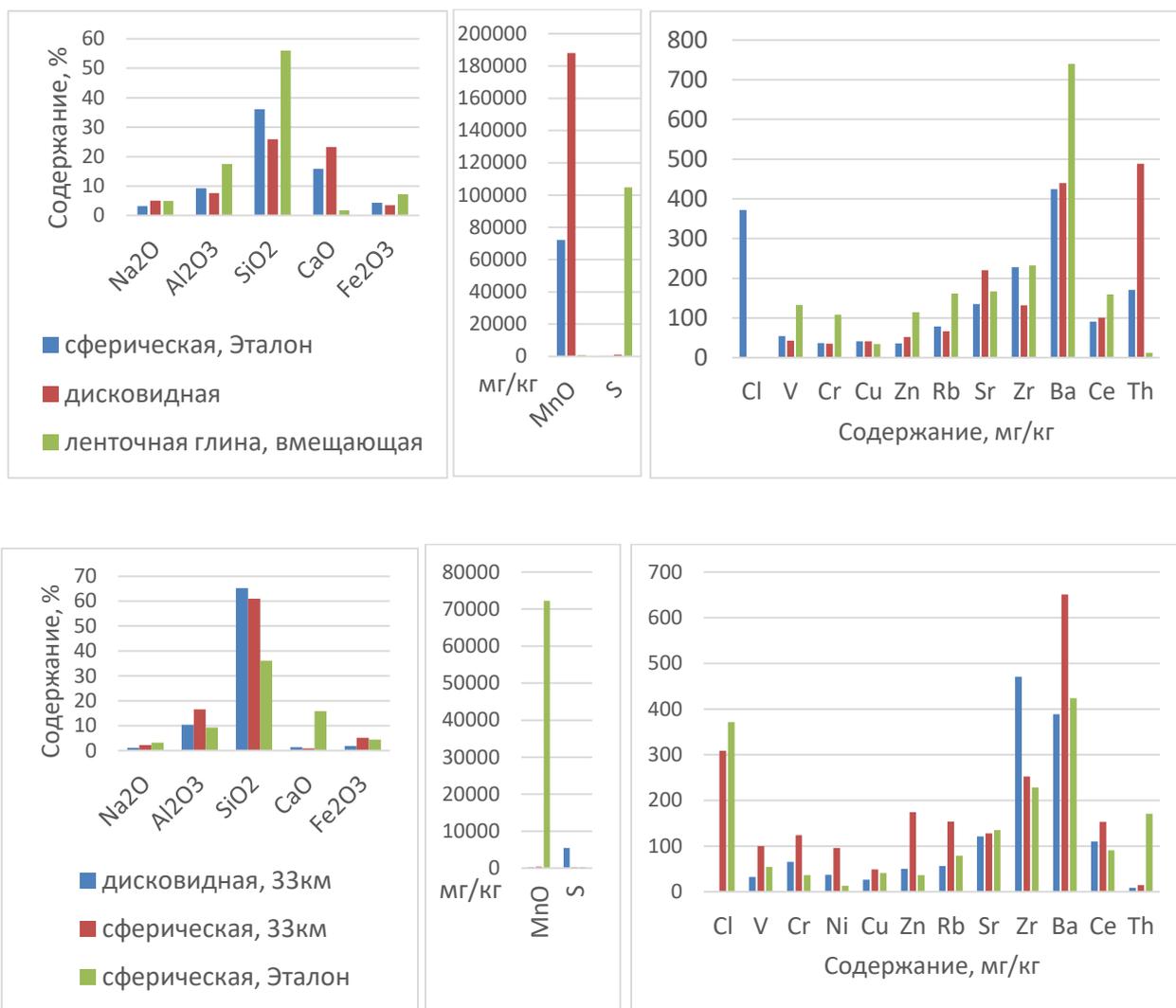


Рис. 4. Результаты рентгенфлуоресцентного анализа панцирных глиняных шаров: графики сверху – химический состав панцирных шаров, дисковидных конкреций и вмещающих глин в карьере завода «Эталон»; графики внизу – состав сферических и дисковидных псевдоконкреций из карьера «33 км» (легенды в первых графиках каждого ряда).

Характеристики глиняных шаров, обнаруженных в четвертичных отложениях Приневской низменности, хорошо согласуются с классическими представлениями об их формировании в потоке. Все найденные экземпляры имеют сферические формы и бронированный панцирь. В песчаном карьере на деятельность потоков указывают также особенности геологического разреза: чередование пластов песка с горизонтальной и *косой слоистостью*; видимые *поверхности размыва* прослоев глин; расположенные рядом с такими поверхностями слои более крупного песка, насыщенные фрагментами глин – именно на контакте с зоной размыва найден глиняный шар (см. рис. 4), может создать впечатление, что шар образовался при быстром размыве этого слоя. Однако, для сферической формы предполагает перекачивание кома глины водным потоком.

Оценка характера палеопотоков Приневья может опираться на следующие научные факты [6]: их размеры обратно пропорциональны скорости течения, при диаметре 5 см глиняные шары могут двигаться со скоростью 9,8 м/с; величина

сферичности – кубический корень из расстояния транспортировки; поскольку панцирь – результат перекачивания по течению, то, чем больше путь, пройденный шаром, тем больше в нем гравийных включений (и, вероятно, они могут проникать в шар глубже?). Диаметр объектов, рассмотренных в данной статье, не превышает 5 см, следовательно, скорость потока могла быть близка указанной выше (и это на порядок больше скорости течения в стрежне Невы у Ивановских порогов, где она составляет 0,8-1,1 м/с!).

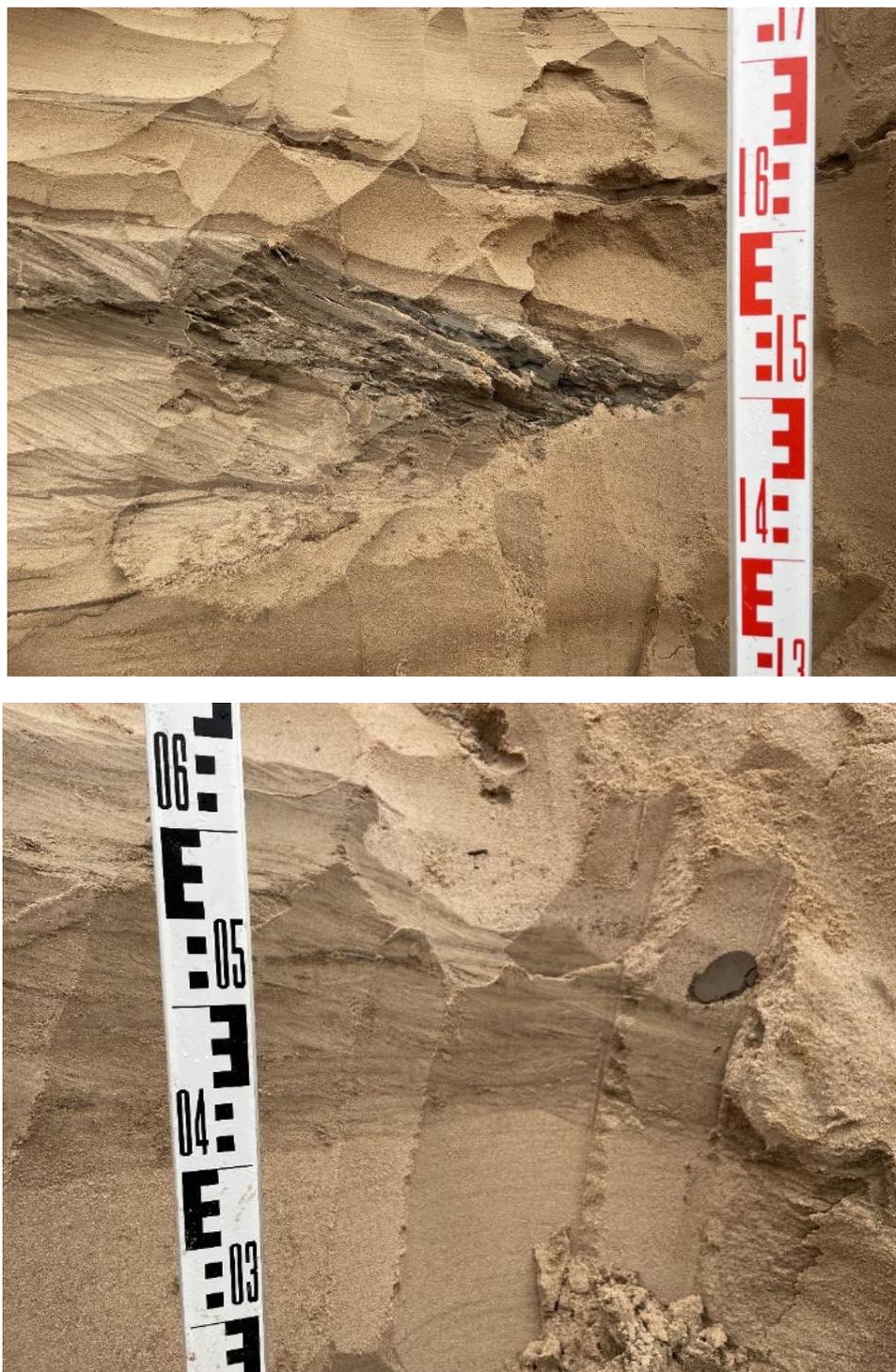


Рис. 5. Фрагменты геологических разрезов в песчаном карьере «33 км», видны линзы глин, поверхности размыва и комки глины разной степени сферичности.

Выводы

Подведем некоторые итоги: 1 – сферические комки глины, обнаруженные в четвертичных отложениях Приневской низменности, представляют собой панцирные глиняные шары; 2 – на воздухе глиняные шары неустойчивы, и сохранились до наших дней благодаря быстрому формированию и захоронению на дне палеоводоемов; 3 – в результате длительного нахождения в толще ленточных глин (на глубине 15 м ниже у.м.) панцирные глиняные шары накопили СаО и МпО, аналогично типичным конкрециям, находящимся в том же слое; 4 – глиняные шары в песчаном карьере имеют почти идеальную сферичную форму, а в глиняном карьере – содержат гравийный материал, не только на поверхности, но и глубоко вдающийся внутрь – следствие длительного пути; 5 – комплекс характеристик панцирных шаров указывает на их транспортировку потоками, более мощными, чем современная река Нева.

Благодарности

Автор благодарит за помощь в работе с коллекцией конкреций и панцирных шаров к.г.н. доцента каф. физической географии и природопользования А.Н. Паранину, д. геол.-мин. н. проф. кафедры геологии и геоэкологии С.Т. Ремизову, к.г.н, доцента этой же кафедры М.А. Маркову, инженера Г.Н. Андреева, руководителя проекта GemSet А.А. Буйко.

Литература

- [1] *Байков А.А.* Первая находка панцирных глиняных шаров на Северном Кавказе // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2004. №1. С. 85-88.
- [2] Геологический словарь: в 2-х томах // Под ред. К.Н. Паффенгольц и др. М.: Недра. 1978.
- [3] *Меньшиков В.В.* Панцирные глиняные шары в пролювиальных отложениях кайнозоя гор Актау (Джунгарский Алатау) // Литология и полез. ископаемые. 1991. № 1. С. 125-128.
- [4] *Паранин Р.В.* К вопросу о генезисе валунного материала, включенного в ленточные глины правобережья реки Невы // Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 1 (73). С. 24-32. DOI: 10.36698/2304-5957-2023-1-24-32
- [5] *Паранин Р.В., Паранина А.Н., Кошелева Е.А., Маркова М.А., Ремизова С.Т.* Глинисто-карбонатные конкреции из карьера завода «Эталон» (Приневская низменность) // Астраханский вестник экологического образования. 2023. №2.
- [6] *Петтиджон Ф.Дж.* Осадочные породы: Пер. с англ. М. Недра, 1981. 751 с.
- [7] *Tanner H.* Armoured mud balls revisited Lawrence / Atlantic Geology. 1995. November 21, P. 123-125.

S u m m a r y. For the first time on the territory of the Neva lowland, the author of the article found armored clay balls. The article describes the geological conditions of their occurrence, analyzes the features of their chemical composition, appearance and internal structure. On the basis of the actual data obtained, a conclusion was made about the manifestation of powerful paleostreams in the development of the Neva River territory in the Neopleistocene and Holocene.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ КОТЛОВИНЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛОСОСИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М.С. Потахин^{1,2}, Н.А. Белкина^{1,2}, А.В. Рябинкин¹, Н.А. Мясникова¹,
Ю.А. Кублицкий², А.В. Орлов², Д.А. Субетто²

¹*Карельский научный центр РАН, г. Петрозаводск, mpotakhin@mail.ru*

²*РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург*

STUDY OF DEPRESSION AND BOTTOM SEDIMENTS OF LOSOSINSKOYE RESERVOIR

M.S. Potakhin^{1,2}, N.A. Belkina^{1,2}, A.V. Ryabinkin¹, N.A. Myasnikova¹,
Yu.A. Kublitsky², A.V. Orlov², D.A. Subetto²

¹*Karelian Research Center of RAS, Petrozavodsk*

²*Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg*

Аннотация. Проведены исследования Лососинского водохранилища, включающие съемку глубин, геоморфологическое картирование побережий, отбор поверхностных проб и колонок донных отложений. В результате работ были уточнены морфометрические характеристики водохранилища, выявлены особенности строения его котловины и донных отложений. Полученные данные позволили в первом приближении составить схему трансформации водоема в позднем плейстоцене – голоцене.

Ключевые слова: озеро, водохранилище, трансформация котловины, донные отложения.

Введение

Создание водохранилищ и регулирование ими речного стока, преобразуют естественный режим водных объектов, изменяют гидрографию регионов, способствуют затоплению обширных территорий и т.д. [1]. Образование водохранилищ на базе озер приводит значительному переформированию их котловин, т.е. к изменению рельефа дна и берегов. Изучение особенностей строения котловин и литостратиграфии донных отложений позволяет проследить антропогенную трансформацию водохранилищ, а также эволюцию водоемов за весь период их существования.

Регион исследований, объекты и методы

Лососинское водохранилище расположено в 15 км на юго-запад от гор. Петрозаводска и принадлежит к водосбору р. Лососинки – притока Онежского озера. Находится в пределах Олонецкой возвышенности, в районе развития ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа, в области железо-кремне-гумусового озерного накопления [5]. Водохранилище было создано в начале XVIII века для нужд Петровского чугунолитейного завода и является одним из старейших водохранилищ Карелии. Оно образовалось на месте двух малых озер, общий подъем уровня воды составил около 3,5 м, площадь водоема увеличилась почти в два раза [3].

Котловина водоема овальной формы, вытянутая в меридиональном направлении. В морфологическом плане разделяется на две части: северную, основную часть, расположенную на месте существовавших до затопления озер, и южную, суженную часть, возникшую на затопленной территории вдоль русла р. Илаксы [3]. Северные склоны котловины умеренно пологие, южные – более низкие, пологие. В северной части водоема преобладают каменистые и песчаные

берега, местами возвышенные; в южной части – низкие, дернистые, нередко заболоченные берега. Дно на большей площади ровное, имеются луды и впадины. Из грунтов наиболее распространены илы и отложения заиленных растительных остатков. Согласно справочнику «Озера Карелии» [4], площадь Лососинского водохранилища при отметке уреза воды 183 м БС достигает 8,1 км², длина береговой линии – 22,1 км, объем воды – 46,2 млн. м³, средняя и наибольшая глубина – 5,7 м и 8,5 м соответственно.

В течение 2021-22 гг. были проведены экспедиционные исследования Лососинского водохранилища, которые включали: (1) съемку глубин картплоттером Garmin EchoMAP 50, (2) геоморфологическое обследование и картирование побережья, (3) отбор поверхностных проб донных отложений стратометром Limnos и (4) отбор колонок донных отложений торфяным буром.

Результаты и обсуждение

Согласно нашим расчетам, площадь Лососинского водохранилища достигает 9,7 км² при отметке уровня воды близкой к НПУ 184,35 м БС. В результате батиметрической съемки в небольшой депрессии была обнаружена глубина 11,5 м (рис. 1). Объем воды водохранилища составляет 47,3 млн. м³, средняя глубина – 4,9 м.

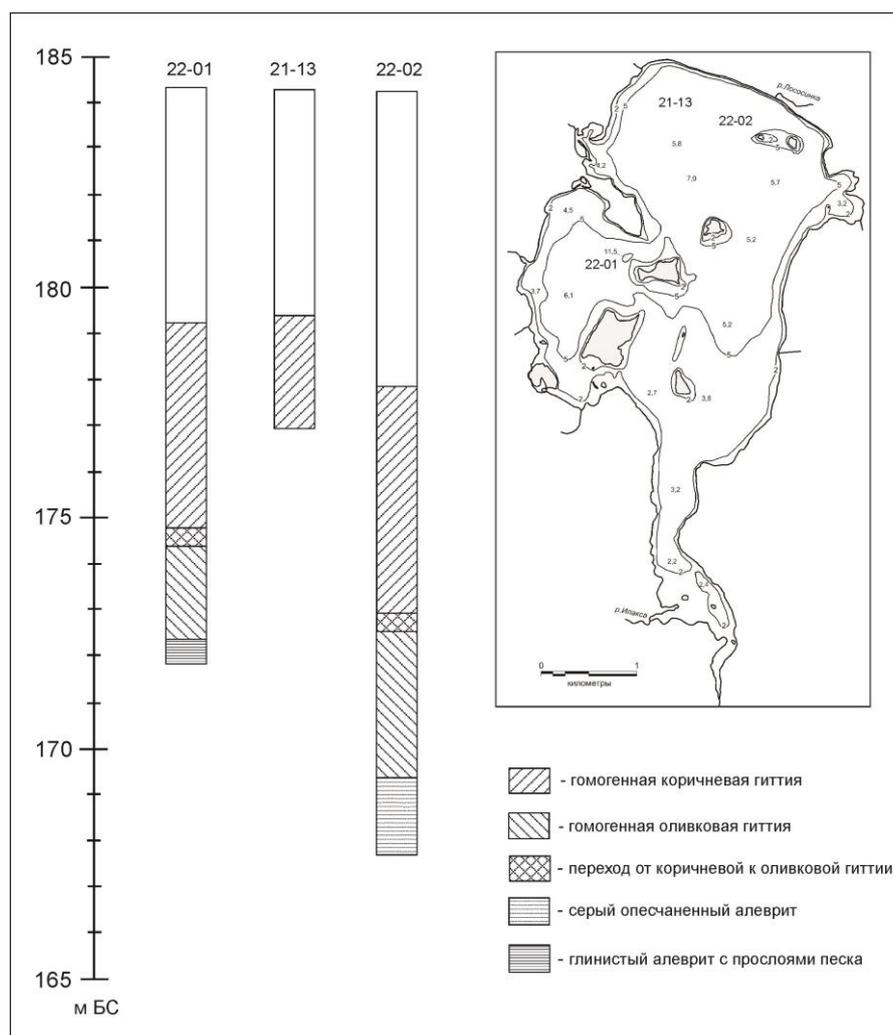


Рис. 1. Схема глубин и разрезов донных отложений Лососинского водохранилища.

Геоморфологическое обследование выявило, что абразионный тип побережья развит в нижней (северной) части водохранилища, а также на островах, представлен возвышенными песчаными и песчано-каменистыми берегами. Аккумулятивный тип, представленный небольшими участками пляжей, распространен в нижней и средней части водоема. Нейтральный тип развит наиболее широко и повсеместно во всех частях водохранилища. Среди нейтрального типа побережий был выделен нейтральный биогенный (фитогенный) подтип – берега зонного и сплавинного зарастания, широко распространенный в верхней (южной) части водоема, а также нейтральный техногенный (антропогенный) подтип, представленный в нижней части водохранилища.

Анализ колонок донных отложений показал, что в поверхностных пробах повсеместно представлен однородный коричневатый сапропель (гиттия), мощностью до 5 м (рис. 1). Наиболее репрезентативным является разрез на станции 22-01, в котором прослеживается переход от коричневой (мощность 4,7 м) к оливковой (мощность 2,2 м) гиттии. Она подстилается опесчаненной гиттией и серым глинистым алевритом с прослоями среднезернистого песка (ленточные глины). Подтверждение распространения ленточных глин в районе Лососинского водохранилища также обнаружено в литературных источниках. В монографии Б.Ф. Землякова «Четвертичная геология Карелии» [2] отмечается, что «...ленточные глины озера Лососинского... совершенно не дают коннекции с логозерскими ленточными глинами, лежащими почти на уровне Онежского озера, хотя расстояние между этими двумя пунктами по прямой измеряется всего полутора десятками километров...».

Таким образом, наличие в районе Лососинского озерно-ледниковых отложений (ленточных глин), подтверждает существование здесь в позднеледниковье локального приледникового водоема, не имевшего прямой связи с Онежским приледниковым озером [7]. Он был приурочен к краевым моренным образованиям лужской стадии [6], развитым в районе северного берега современного водохранилища. Площадь приледникового водоема была сравнима с современным водохранилищем и даже могла превышать ее. В позднем плейстоцене произошел прорыв приледникового водоема через моренную гряду в направлении Онежского озера, с чем, по всей вероятности, связано образование р. Лососинки. В результате этого события уровень водоема был значительно понижен, а в углублениях межморенных понижений образовались два небольших озера. В 1705 г. на месте прорыва моренной гряды была создана дамба, а в 1774 г. – регулируемая плотина. В результате уровень воды был повышен, сток зарегулирован, на базе озер образовалось водохранилище, которое унаследовало котловину приледникового водоема. В таком статусе водоем функционирует уже более 300 лет и в настоящее время представляет собой сформировавшееся озеро-водохранилище со сложившимся режимом [3].

Вывод

В результате проведенных исследований были уточнены основные морфометрические характеристики Лососинского водохранилища, выявлены особенности строения его котловины и донных отложений. Установлено, что нейтральный тип берега развит повсеместно во всех частях водохранилища, абразионный тип – в нижней части, аккумулятивный тип – в нижней и средней части. Выявлена последовательная смена типов донных отложений (вниз по колонке): гомогенная коричневая гиттия – гомогенная оливковая гиттия – серый опесчаненный алевроит – ленточные глины. Полученные данные позволили в первом приближении составить схему трансформации водоема в позднем плейстоцене и голоцене: локальный приледниковый водоем – малые изолированные озера – озеро-водохранилище.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИВПС КарНЦ РАН (FMEN-2021-0006) и госзадания РГПУ им. А. И. Герцена (VRFY-2023-0010).

Литература

- [1] Водохранилища мира. М., 1979. 285 с.
- [2] *Земляков Б.Ф.* Четвертичная геология Карелии. Петрозаводск, 1936. 103 с.
- [3] Озера Карелии. Природа, рыбы, рыбное хозяйство. Петрозаводск, 1959. 619 с.
- [4] Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск, 2013. 464 с.
- [5] *Потахин М.С., Белкина Н.А., Субетто Д.А.* Особенности генезиса котловин и строения донных отложений озер юго-восточного склона Фенноскандинавского кристаллического щита // Астраханский вестник экологического образования. 2019. 6(54). С. 4-13.
- [6] *Saarnisto M., Saarinen T.* Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkä End-Moraine // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. P. 387-405.
- [7] *Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A.* Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations // J. of Paleolimnology. 2019. 62(1). P. 53-71.

S u m m a r y. Field studies of the Lososinskoye reservoir have been carried out. The studies included bathymetric and geomorphological mapping, bottoms sediments sampling and coring. The morphometric characteristics of the reservoir were refined, and the features of lake depression and bottom sediments were revealed. The data obtained made it possible to develop a scheme of transformation of the water body in the Late Pleistocene – Holocene.

ИЗУЧЕНИЕ РИТМОВ ПРИБРЕЖНЫХ ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ (ГУБА ЛЕТНЯЯ ЗОЛОТИЦА, ОНЕЖСКИЙ П-ОВ БЕЛОГО МОРЯ)

Т.Ю. Репкина^{1,2}, Ю.А. Кублицкий², П.А. Леонтьев², Е.А. Вахрамеева³,
А.В. Орлов², Д.Н. Левкова², М.А. Комагорова⁴

¹ *Институт географии ГРАН, г. Москва, t-repkina@yandex.ru*

² *РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, uriy_87@mail.ru, barograph@yandex.ru*

³Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, vakhr-elena@yandex.ru

⁴ Минералогический музей им А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, egorova.com@gmail.com

STUDYING THE RHYTHMS OF COASTAL EOLIC PROCESSES USING PALEOLYMNOLOGICAL METHODS (LETNYAYA ZOLOTITSA BAY, ONEGA PENINSULA OF THE WHITE SEA)

T.Yu. Repkina¹, Yu.A. Kublitsky², P.A. Leontiev², E.A. Vakhrameeva³,
A.V. Orlov², D.N. Levkova², M.A. Komagorova⁴

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Science, Moscow

² Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg

³ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk

⁴ Fersman Mineralogical Museum, Moscow

Аннотация. Рассматривается возможность использования донных отложений изолированных водоемов для оценки динамики прибрежных эоловых процессов в голоцене. На побережье губы Летняя Золотица (Онежский п-ов Белого моря) донные отложения палеолагуны Петрушина Ляга (64.95372° с.ш., 36.85388° в.д.; урез – 17.1 м н.у.м.), отчлененной от моря позже ~5.8 тыс. кал.л.н., изучены комплексом аналитически методов. Определено валовое содержание органического вещества, выполнен гранулометрический анализ. Проведен сравнительный анализ состава минеральной фракции озёрно-болотных отложений с наносами современной береговой зоны, активных и стабилизированных прибрежных дюн. Показано, что в условиях быстрого (2.8-2.9 мм/год) послеледникового поднятия залесенного побережья ширина зоны ближнего эолового переноса не превышает первых сотен метров. Изменения содержания песка в нижних горизонтах отложений палеолагуны отражает, по-видимому, ее постепенное удаление от береговой линии, а в верхних – динамику поверхностного стока.

Ключевые слова: прибрежные эоловые процессы, ритмичность, содержание органического вещества, гранулометрический и минералогический анализ, голоцен, Белое море.

Введение

Эоловые процессы – важная составляющая баланса наносов песчаных берегов Мирового океана [3]. Ветропесчаный поток¹ выносит наносы в тыловую часть пляжа, где образует «первичные прибрежные дюны» – закустовые бугры (или эоловые подушки) и авандюны [2, 3]. При значительных скоростях ветра часть песков может быть вынесена за пределы береговой зоны (БЗ) во взвешенном состоянии. Дальность так называемого «ближнего» эолового переноса изменяется в зависимости от местных условий от сотен метров до нескольких километров [8]. Таким образом, изменение содержания и состава минеральных частиц в отложениях озёр, болот и маршей зоны ближнего эолового переноса может быть индикатором активизации и затухания прибрежных эоловых процессов. На берегах Белого моря фактических данных для решения этой проблемы пока недостаточно [7]. В работе представлены

¹ Ветропесчаный поток – приземный слой воздушного потока, переносящий твердые минеральные частицы диаметром от 0.05 до 2 мм путем сальтации, качения или во взвешенном состоянии. Скорость ветра для начала движения сухого песка: мелкозернистого ~4-5 м/с; крупнозернистого – 10-11 м/с [по 3, 8].

первые результаты аналитических исследований донных отложений палеолагуны Петрушина Ляга (побережье губы Летняя Золотица, северо-запад Онежского полуострова Белого моря) для реконструкции ритмов прибрежного эолового морфолитогенеза.

Регион исследований, объекты и методы

Губа Летняя Золотица – глубоко врезаемый в сушу залив (рис. 1). Конфигурацию его берегов и основные черты рельефа дна определяет строение кровли морены последнего оледенения. В результате послеледникового поднятия (~2.8-2.9 мм/год) очертания берегов губы перестраиваются. При этом в зону волновой переработки попадают новые участки морского дна, а древние береговые линии (БЛ) утрачивают литодинамическую связь с БЗ [6].

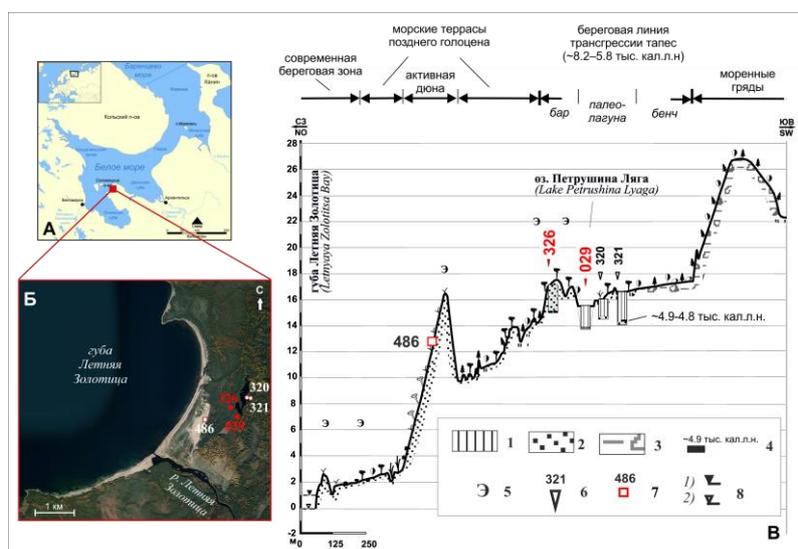


Рис. 1. Положение района исследований (А, Б) и схематический поперечный профиль побережья губы Летняя Золотица (В, по [6]).

Условные обозначения: 1 – торф, 2 – песок, 3 – валунный суглинок, 4 – возраст подошвы торфа; положение: 5 – активных и стабилизированных форм эолового рельефа, 6 – скважин (цифра – номер скважины, черная – по [6], красная – данная работа), 7 – пунктов отбора наносов активного слоя; 8 – урез воды: 1) в полную воду, 2) в малую воду.

Современные берега губы преимущественно аккумулятивные, с песчаными пляжами (ширина 20-40 м), окаймленными авандюной (высота 1-1.5 м). В вершине залива, на расстоянии до 500 м от БЛ, сформировались поверхность эолового выравнивания и активная дюна (высота 12-13 м при ширине до 200 м). В ее тылу древние береговые валы и авандюны закреплены лесной растительностью; современных очагов переувлажнения не выявлено. Лагуна Петрушина Ляга (урез – 17.1 м, порог стока – 16 м н. у.м., расстояние от современной БЛ - ~1 км) образовалась во время трансгрессии среднего голоцена тапес (~8.2–5.8 тыс. кал. л.н.) за перевеянным песчаным баром. Она была изолирована от моря не позднее ~4.9-4.8 тыс. кал. л.н. (рис. 1В). В настоящее время южная часть лагуны заболочена, на севере сохранился остаточный водоем.

На современных берегах губы Летняя Золотица литодинамические процессы достаточно интенсивны. Залив открыт преобладающим и наиболее

сильным ветрам ЮЮЗ-ЮЗ и СВ румбов. Летом возрастает роль восточных, зимой – ЮЮЗ-ЮЗ ветров. Доля ветров СЗ, ЗЮЗ и ССЗ румбов скоростью более 5 м/с, способных выносить пески в сторону активной дюны, – ~15% (в т.ч. ветров сильнее 10 м/с - ~2%, а сильнее 16 м/с - ~0.3%) [1]. В заливе существует автономная литодинамическая ячейка. Наносы поступают в БЗ с подводного берегового склона, с твердым стоком р. Летней Золотицы и небольших ручьев, а также от размыва мысов, ограничивающих залив. Вдольбереговые потоки наносов направлены от мысов к вершине залива, где под действием волновых и эоловых процессов происходит их наиболее глубокая дифференциация [9].

На *приливных осушках* наносы активного слоя плохо сортированы. Присутствуют частицы от крупного алеврита (0.1-0.05 мм) до гальки (>10 мм). В целом, на *нижней осушке* преобладают среднезернистые или мелкозернистые пески; на *верхней осушке* значительно содержание крупнозернистых песков. В *основании пляжей* наносы грубее – преобладают крупнозернистые и среднезернистые пески, иногда – мелкий гравий; крупный алеврит (0.1%) встречен в единичных образцах. В *зоне среднего заплеска* преобладающими становятся среднезернистые пески (52-86%), присутствуют гравий и галька, а алеврит отсутствует. В тыловой части пляжей (т.н. «*зона дефляции*») наносы активного слоя представлены среднезернистым песком (0.5-0.25 мм; 50-76%) с включением мелкозернистого (0.25-0.1 мм; 6-37%) и крупнозернистого (1-0.5 мм; 4-43%) песка и редких зерен гравия (1-2 мм; до 2.2%). На *поверхности авандюны* присутствуют те же размерные фракции, а доля среднезернистого песка составляет не менее 65%. В минералогическом составе наносов существенно содержание амфибола и граната. Прослой гранат-амфиболового песка присутствуют также в разрезах наносов пляжа [9]. Таким образом, наносам, которые могут быть вовлечены в ближний эоловый перенос, свойственны преобладание среднезернистого песка, отсутствие алеврита и специфический минералогический состав.

Отложения котловины палеолагуны Петрушина Ляга изучены в скважине 059 (рис. 1). Бурение выполнено с помощью русского торфяного бура. Проведено литостратиграфическое описание отложений, керны отобраны на аналитические исследования и радиоуглеродное датирование. Также, чтобы проследить изменения состава эоловых песков с удалением от берега, на аналитические исследования были отобраны образцы с поверхности активной дюны (т. 486 на рис. 1) и из отложений стабилизированной авандюны (326 на рис. 1). Для отложений палеолагуны определено валовое содержание органического вещества (ОВ), выполнен гранулометрический анализ минеральной фракции осадка. Содержание ОВ оценено по показателю ППП (потери при прокаливании). Гранулометрический анализ выполнен пипеточным методом по методике [5]. Расчет содержания фракций проведен на абсолютно сухую навеску образца по классификации Н.А. Качинского [4]. Относительная погрешность измерения для всех фракций составляет от 19 до 29%. Пески активной и стабилизированной дюн изучены методами гранулометрического (ситовой метод) и минералогического анализов.

Результаты и их обсуждение

Аналитические исследования наносов активной дюны (т. 486 на рис. 1) показали, что с удалением от берега эоловые отложения становятся тоньше - основную часть пробы составляют среднезернистые (49.8%) и мелкозернистые (46.1%) пески, в незначительных количествах (0.1%) появляется алеврит, а частицы размером более 1 мм отсутствуют.

В разрезе отложений древнего бара (т. 326 на рис. 1) вскрыта регрессивная последовательность осадков. В основании разреза (190-215 см) залегают прибрежно-морские галечники и средне-крупнозернистые горизонтально слоистые пески с прослоями темноцветных минералов. По составу они сходны с наносами основания современных пляжей. Выше (30-190 см) залегают неявнослоистые разнозернистые (от мелко- до крупнозернистых с преобладанием среднезернистых) пески с редкими включениями зерен гравия. По гранулометрическому составу они могут быть сопоставлены с наносами зоны заплеска пляжей. В верхней части разреза (0-30 см) преобладает среднезернистый песок (71%) при значимом содержании мелко- (~17%) и крупнозернистого (10%) песка. Доля частиц <0.1 мм - 0.2%, а частицы более 1 мм представлены единичными зернами. По-видимому, горизонт может быть сопоставлен с прибрежными эоловыми отложениями, измененными процессами почвообразования.

Отложения палеолагуны Петрушина Ляга изучены в заболоченной части котловины на глубину 183 см. Большая часть керна представлена торфом. В интервале 0-15 см торф слабо разложившийся, мокрый; ниже среднеразложившийся (15-153 см) и хорошо разложившийся, опесчаненный (153-173 см). В основании разреза (173-183) залегает разнозернистый (частиц 0.5-0.25 мм - ~55%; 1-0.5 мм - ~38%; 0.25-0.1 - ~4%), полимиктовый песок с алевритом (~3%) и гравием (<1%); он накопился, по-видимому, на стадии отчленения лагуны от моря. В нижнем (160-173 см) интервале болотных отложений содержание ОВ быстро увеличивается (~13-30%), одновременно в составе минеральной фракции возрастает доля крупного алеврита (~54-69%), а содержание песка уменьшается (~33-16%). На контакте хорошо и среднеразложившегося торфа (147-160 см) содержание ОВ быстро достигает ~67%, а затем 93%. В минеральной фракции господствует крупный алеврит (82-83%), а содержание песка составляет 2-3%. Выше (77-147 см) содержание ОВ - 81-98%. Доля крупного алеврита в минеральной фракции - 71-89%, более тонких частиц - 8-25%, а песка - 2-4%.

Выводы

В качестве индикатора ритмов эолового выноса наносов из БЗ может рассматриваться содержание частиц песка в нижнем (160-173 см) интервале болотных отложений палеолагуны. Он накапливался, по-видимому, когда водоем находился еще вблизи береговой линии. Выше по разрезу изменения содержания песка близко к погрешности измерения. Колебания содержания алеврита и более тонких фракций может быть связано с динамикой

поверхностного стока и/или атмосферными процессами большего масштаба. В условиях быстрого послеледникового поднятия залесенного побережья ширина зоны ближнего эолового переноса не превышает, вероятно, первых сотен метров.

Благодарности

Исследования выполнены за счет гранта РФФИ № 22- 27-00499.

Литература

- [1] Атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана». Белое море. ЕСИМО. 2007. (http://www.esimo.ru/atlas/index_atlas.html). Дата обращения 04.12.2022.
- [2] Бадюкова Е.Н., Соловьева Г.Д. Прибрежные эоловые формы и колебания уровня моря // Океанология. 2015. Т. 55, № 1. С. 139-146. DOI: 10.7868/S0030157415010013
- [3] Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу // Одесса: Изд-во «Астропринт», 2003. 368 с.
- [4] Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И. Методы определения осадочных пород. Л.: Недра, 1986. 240 с.
- [5] МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
- [6] Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Лудикова А.В., Зарецкая Н.Е. Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Известия РАН. Серия Географическая. 2020. Том 84. № 6, С. 888-904; DOI: 10.31857/S2587556620060096
- [7] Репкина Т.Ю., Яковлева А.П. Эоловый рельеф побережья Белого моря: типизация и распространение // Океанология (в печати)
- [8] Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов / Г.А. Сафьянов. М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 400.
- [9] Сафьянов Г.А., Репкина Т.Ю., Удалов Л.Е., Кунгаа М.Ч. Морфодинамические и литодинамические условия дифференциации наносов на пляжах и приливных осушках северо-западной части Онежского п-ова (Белое море) // Геология морей и океанов: Материалы XX Междунар. конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. ГЕОС Москва, 2013. С. 251-255.

S u m m a r y. The possibility of using bottom sediments of isolated water bodies to assess the dynamics of coastal eolian processes in the Holocene is considered. On the coast of Letnyaya Zolotitsa Bay (Onega Peninsula of the White Sea), deposits of the Petrushina Lyaga paleolagoon (64.95372° N, 36.85388° E; 17.1 m a.s.l.), separated from the sea later by ~5.8 cal. BP, studied by a complex of analytical methods. The grain size distribution and loss on ignition was performed. A comparative analysis of the composition of the mineral fraction of lacustrine-marsh sediments with sediments of the coastal zone, active and stabilized coastal dunes was carried out. It is shown that under conditions of rapid (2.8-2.9 mm/year) post-glacial uplift of the forested coast, the width of the «near aeolian transport» zone does not exceed a few hundred meters. Changes in the content of sand in the lower horizons of the paleolagoon sediments apparently reflect its gradual removal from the coastline, and in the upper ones, the dynamics of surface runoff.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ- ГОЛОЦЕНЕ

Д.В. Рябчук¹, А.Ю. Сергеев¹, И.А. Неевин¹, Е.Е. Талденкова², Л.М. Буданов¹,
В.А. Жамойда¹, Е.С. Носевич¹, З.В. Пушина¹, А.Г. Григорьев¹, Л.Д. Баширова^{3,4},
Е.В. Пономаренко^{3,4}

¹ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, *Daria_Ryabchuk@mail.ru*

²МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

⁴Балтийский Федеральный Университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия

NEW DATA ON PALEOGEOGRAPHICAL DEVELOPMENT OF EAST- SIBERIAN SEA IN LATE PLEISTOCENE - HOLOCENE

D.V. Ryabchuk¹, A.Yu. Sergeev¹, I.A. Neevin¹, E.E. Taldenkova², L.M. Budanov¹,
V.A. Zhamoida¹, E.S. Nosevich¹, Z.V. Pushina¹, A.G. Grigoriev¹,
L.D. Bashirova³, E.V. Ponomarenko³

¹A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg

²Moscow State University of M.V. Lomonosov, Moscow

³Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

⁴Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Аннотация. В статье рассмотрены результаты геолого-геофизических исследований донных отложений прибрежных районов Восточно-Сибирского моря. Предложена концепция палеогеографического развития региона в позднем неоплейстоцене-голоцене.

Ключевые слова: *Восточно-Сибирское море, верхний неоплейстоцен-голоцен, сейсмоакустическое профилирование, датирование, шельф, изменения уровня моря.*

Введение

Прибрежные районы Восточно-Сибирского моря относятся к самым слабоизученным акваториям Российской Арктики. Ограниченная информация о строении приповерхностного геологического разреза (результаты бурения, поверхностного пробоотбора, сейсмоакустического профилирования и т.д.) содержится в ряде неопубликованных отчетов, составленных в 1971-1988 гг. (Безродных Ю.П., Калинин В.А., Васильев В.В., Воробьев В.А., Гринваль Э.Ф., Громатович Г.А., Дорофеев В.К., Зайцев И.М., Маслов Ю.С., Лаштабег В.А., Серов Е.К., Судаков Л.А. и др.). Единственная относительно глубокая скважина (650 м) в районе исследований была пробурена на острове Айон [4]. Литологические, минералогические и геохимические исследования поверхностных отложений выполнялись специалистами НИИГА-ВНИИОкеангеология [3, 5], ДВО РАН [1, 2], ИО РАН. Объем имеющихся данных по сейсмоакустическому профилированию для исследованного района крайне ограничен – экспериментальные геолого-геофизические работы с применением этого метода были осуществлены в 1977-1988 гг. в Колымском заливе, в 2010 году ГНПП «Севморгео» пройден региональный профиль 5АР (к западу от острова Врангеля). Отсутствие данных сейсмоакустического профилирования и радиоуглеродных датировок четвертичных отложений вызвали неоднозначность в интерпретации геологической истории территории в четвертичное время. Исследования, начатые в 2018 г. рамках проектов по

государственному геологическому картированию и продолженные в 2022 г. в ходе выполнения гранта РФФИ, позволили получить новые геолого-геофизические данные для исследуемого района и несколько продвинуться в разработке концепции палеогеографического развития региона.

Регион исследований, объекты и методы

В ходе экспедиций ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2018 и 2020 гг., организованных в рамках государственного геологического картирования (ГК-1000/3) листов R56-60 и S-55,56 (от Новосибирских островов до о-ва Врангеля) было выполнено 3400 км непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) с одновременным использованием нескольких методов (спаркер, пневмопушка, профилограф), 3200 км профилирования методом гидролокации бокового обзора (ГЛБО) и многолучевого эхолотирования, выполнена 191 станция донного пробоотбора с применением бокс-корера, с помощью гравитационной ударной трубки отобрано 29 грунтовых колонок (длиной от 0,25 до 2,5 м). Детальные исследования кернов донных отложений включали в себя послойный гранулометрический анализ, комплекс геохимических определений, палинологический анализ и радиоуглеродное датирование.

В 2022 г. в ИО РАН был выполнен анализ 11 кернов донных отложений с использованием автоматизированной системы для комплексного изучения кернов Geotek MSCL-XYZ (сканирование, фотографирование, геохимические исследования). С применением лазерного анализатора размеров частиц Microtrac MrV был выполнен детальный гранулометрический анализ четырех грунтовых колонок, в результате к настоящему моменту для всех имеющихся в распоряжении исполнителей грунтовых колонок получена детальная база данных по гранулометрии (разрешение 1 см). Для 8 грунтовых колонок, отобранных в 2020 г. в западной части Восточно-Сибирского моря, был выполнен отбор образцов на микропалеонтологические исследования и радиоуглеродное датирование раковин моллюсков.

Для создания точной и детальной цифровой батиметрической модели были использованы морские навигационные карты масштаба 1:500 000 и 1:200 000. В программе ArcGIS оцифрованы точки промеров глубин и изобаты, с помощью модуля ArcGIS «Spatial analyst» выполнена интерполяция методом «Toro to raster».

Обсуждение результатов

По данным анализа НСАП и колонкового пробоотбора, в сводном разрезе выделено пять сеймостратиграфических толщ (ССТ) плиоцен-четвертичных отложений, которые, в свою очередь, локально могут подразделяться на более дробные подразделения, построены ГИС-схемы кровли и мощности выделенных ССТ вдоль профилей, составлена предварительная сеймостратиграфическая схема четвертичных отложений прибрежно-шельфовой зоны Восточно-Сибирского моря (от Новосибирских островов до о-ва Врангеля). ССТ5 в западной части площади имеет возраст – гелазий – нижний неоплейстоцен (соответствует отложениям канарчакской свиты), в восточной части – плиоцен-

нижний неоплейстоцен. ССТ4 – нижний (?) – средний неоплейстоцен, озерные, аллювиальные и морские нерасчлененные отложения. ССТ3 – верхний неоплейстоцен (казанцевская трансгрессия – морская седиментация), зырянская регрессия (озерное осадконакопление, либо перерыв в осадконакоплении). ССТ2 коррелируются с молотковским горизонтом едомной свиты на суше и отнесена к морским отложениям верхнего звена неоплейстоцена (каргинское потепление). ССТ1 – послесартанское потепление-ингрессия моря – голоцен (в восточной части ранний голоцен, в западной – средний-поздний голоцен). Последовательная смена озерных (преимущественно термокарстовых), прибрежно-морских, лагунных и морских отложений. Выделенные ССТ характеризуют цикличность осадконакопления со среднего неоплейстоцена.

Согласно анализу материалов НСАП, пробоотбором вскрыты отложения ССТ4 – ССТ1. Верхние части разрезов, опробованных ССТ4–ССТ2, представляют собой отложения, прошедшие субаэральную стадию при похолоданиях и регрессиях (средненеоплейстоценовом, зырянском и сартанском соответственно) и сложены крайне плотными отложениями, что обусловило небольшую длину полученных кернов. Опробованные отложения ССТ4 характеризуют неустойчивые условия среды седиментации в пресноводном водоеме, имевшем низкую биопродуктивность, близость источников сноса. Колонки из ССТ3 также характеризуют пресноводную среду, низкую биопродуктивность, однако имеют более тонкозернистый состав. Колонки из ССТ2 характеризуют активную гидродинамическую среду седиментации, низкую палеосоленость водоема, стабильность гидрохимических условий. Отложения ССТ1 опробованы наибольшим количеством грунтовых колонок, причем при выборе станций по профилям НСАП удалось получить материал для исследований различных возрастных срезов отложений и проследить, таким образом, развитие послесартанской трансгрессии. Так, например, колонка 18ВСМ-3 (интервал 158-38 см) характеризуется отчетливой субгоризонтальной стратификацией алевроглинистых отложений, ненарушенной следами бентосной активности или воздействием льда, высоким содержанием Сорг (2%). Гранулометрические параметры отложений относительно постоянны, доля пелитовых частиц превышает 50% от состава осадка, что свидетельствует о спокойных условиях придонной гидродинамики. Также отложения этой части разреза отличаются от голоценовых осадков по геохимическим показателям и рассчитанной палеосолености. По данным диатомового анализа, в отложениях доминируют пресноводные диатомеи. Для нижнего горизонта колонки получена радиоуглеродная датировка 18584 кал. л.н., которая, вероятно, удревнена за счет переотложения органического вещества, однако в любом случае характеризует временной диапазон между началом позднеоплейстоценового потепления и временем, когда морская трансгрессия достигла рассматриваемого района. По комплексу описанных признаков отложения этой части разреза отвечают осадконакоплению в котловине термокарстового озера. Выше по разрезу на интервале 0-30 см достаточно четко фиксируется переход к прибрежно-морским (лагунным?) условиям седиментации по всем изученным параметрам

(палеосоленость, комплекс диатомовых водорослей, геохимические показатели). Солонатоводные условия седиментации (при разнообразии фациальных обстановок) характеризуют 14 отобранных кернов, типично морские отложения позднего голоцена опробованы в верхних горизонтах двух колонок, а также в поверхностных пробах, отобранных бокс-корером.

На основе построенных моделей рельефа дна и существующих представлений об изменении уровня моря построены предварительные палеогеографические реконструкции развития исследуемой площади за последние 24 тыс. лет, которые иллюстрируют асинхронность развития послесартанской трансгрессии на шельфе Восточно-Сибирского моря. Во время последнего (сартанского) похолодания на всей территории исследования преобладали континентальные условия, превалировали эрозионные и термоэрозионные процессы. В исследуемой прибрежной зоне не обнаружено форм рельефа или отложений, образовавшихся в результате ледниковой деятельности, что подтверждает отсутствие материкового оледенения на о-вах Врангеля и Новая Сибирь в последний ледниковый максимум. Анализ морфологии, стратиграфического и батиметрического положение гряд, расположенных на прибрежных мелководьях по периферии о-ва Новая Сибирь, а также состав и гранулометрические параметры слагающих их отложений, позволили выделить два различных по возрасту и генезису типа - аккумулятивные прибрежно-морские (подводные бары) и гряды течения (в подводных условиях), либо эрозионного (в субаэральных условиях) происхождения. Ледниковые формы рельефа в ходе исследований здесь не установлены. В конце позднего неоплейстоцена-начале голоцена прибрежные районы Восточно-Сибирского моря представляли собой сушу, на которой в ходе потепления происходило повсеместное развитие термокарста, деградация вечной мерзлоты, активизация эрозионных процессов и осадконакопление в мелководных термокарстовых пресноводных озерах. Трансгрессия развивалась крайне неравномерно с востока на запад, начиная с Чукотского моря, где около 11 тыс. л.н. сформировался закрытый залив (лагуна), в то время как остальная часть исследуемой площади оставалась сушей. Около 10 тыс. л.н. первые связанные с открытым морем лагуны образовались к западу от о-ва Врангеля. К 8,5 тыс. л.н. современные прибрежные участки Чукотского и восточной части Восточно-Сибирского моря уже были затоплены морской трансгрессией, в то время как на западе Восточно-Сибирского моря массив суши все еще простирался до современного о-ва Новая Сибирь включительно. Выполненные палеорекострукции подтверждаются опубликованными результатами исследований и датирования костей крупных млекопитающих на островах Жохова, Беннета и Врангеля. В период около 8,4 тыс. кал. л.н. существовал морской водоем, глубоко вдающийся в сушу в районе падеодельты Колымы и эстуария реки, впадавшей в море севернее современной Чаунской губы. Морская трансгрессия развивалась довольно неравномерно, о чем свидетельствуют характеристичные формы рельефа дна (прибрежные валы, подводные террасы, авандельты и др.). Скорость накопления голоценовых и современных морских

отложений в районе исследования обычно очень низкая, доказательством чему служит небольшая мощность морских отложений, отобранных грунтовыми трубками. Стратификация голоценовых отложений в значительной степени нарушается из-за повсеместного воздействия дрейфующих льдов на дно.

Выводы

Были выполнены палеогеографические реконструкции, которые показали, что в конце позднего неоплейстоцена-начале голоцена прибрежные районы Восточно-Сибирского моря представляли собой сушу, на которой в ходе потепления развивались комплексные термоденудационные процессы, а осадконакопление происходило в континентальных условиях. Трансгрессия морских вод происходила с востока на запад; 11 тыс. л.н. сформировался закрытый залив со стороны Чукотского моря, около 10 тыс. л.н. первые связанные с открытым морем лагуны образовались к западу от о-ва Врангеля; 8,5 тыс. л.н. только на западе Восточно-Сибирского моря массив суши все еще простирался до современного о-ва Новая Сибирь, в то время как весь остальной шельф был уже затоплен морем.

Благодарности. Исследования данных осуществлены при поддержке гранта РФФИ № 22-27-00412.

Литература

- [1] *Дударев О.В. и др.* Новые данные о распределении глинистых минералов в донных осадках шельфа Восточно-Сибирского моря // Международная конференция «Полезные ископаемые континентальных шельфов» и V (заключительная) конференция по проекту IGC-P464 «Континентальные шельфы во время последнего гляциального цикла». СПб., 2005. С. 119-122.
- [2] *Николаева Н.А., Деркачев А.Н., Дударев О.В.* Особенности минерального состава осадков шельфа восточной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирского // *Океанология*. 2013. Т. 53, № 4. С. 529-538.
- [3] *Семенов Ю.П.* О некоторых особенностях формирования донных отложений Восточно-Сибирского и Чукотского морей // *Антропогенный период в Арктике и Субарктике*. Труды НИИГА. Том 143. М.: Недра. 1965, С. 350-352.
- [4] *Слободин В.Я., Ким Б.И., Степанова Г.В., Коноваленко Ф.Я.* Расчленение разреза Айонской скважины по новым биостратиграфическим данным // *Стратиграфия и палеонтология мезо-кайнозоя Советской Арктики*. Л.: Изд-во ПГО «Севморгеология», 1990. С. 43-58.
- [5] *Яшин Д.С.* Голоценовый седиментогенез Арктических морей России // *Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона*. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000, вып. 3. С. 57-67.

S u m m a r y. The paper presents new results of geological and geophysical research of the East Siberian Sea bottom sediments. Conception of palaeogeographical development of study area in Late Pleistocene – Holocene is discussed.

КОНТУРИТОВЫЕ ДРИФТЫ ВОСТОЧНО-ГОТЛАНДСКОЙ И ГДАНЬСКОЙ ВПАДИН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В.В. Сивков¹, Е.В. Дорохова^{1,2}, Д.В. Дорохов^{1,2}, Д.Н. Ласкина^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, vadim.sivkov@atlantic.ocean.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

CONTOURITE DRIFTS OF THE EASTERN GOTLAND AND GDANSK DEEPS OF THE BALTIC SEA

V.V. Sivkov¹, E.V. Dorokhova^{1,2}, D.V. Dorokhov^{1,2}, D.N. Laskina^{1,2}

¹Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow

²I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Аннотация. По сейсмоакустическим данным уточнена пространственная схема контурных течений североморских вод, оказывающих влияние на осадконакопление в Юго-Восточной Балтике. В южной части Восточно-Готландской впадины идентифицированы каналы (вытянутые депрессии) и соответствующие осадочные тела (контуритовые дрифты), сформированные под влиянием течений. В северо-восточной части Гданьской впадины выявлена вытянутая присклоновая депрессия и прилегающий пологий контуритовый дрефт. Депрессия, прослеживается не только в морских, но и в озерных осадках (ранний голоцен). Предположительно начальная, озерная стадия формирования депрессии была обусловлена локальной вертикальной конвекцией плотных зимних вод прибрежного мелководья в условиях относительно холодного климата раннего голоцена. В колонках донных осадков, отобранных в дрифтах, выявлены интервалы интенсификации течений североморских вод в среднем голоцене.

Ключевые слова: Балтийское море, Восточно-Готландская впадина, Гданьская впадина, придонные течения, контуритовые дрифты, сейсмоакустика, литология, конвекция.

Введение

Балтийское море является крупнейшим в мире эстуарием, который возник 8 тыс. л.н. в связи с началом поступления в Балтику соленых североморских вод. Придонные течения этих вод (контурные течения) сформировали на поверхности дна вытянутые депрессии и эрозионные каналы, а также прилегающие к ним контуритовые дрифты – осадочные тела контуритов [4]. Высокие скорости осадконакопления контуритов создают возможности палеогеографических исследований с максимальным временным разрешением. Целью настоящей работы было изучение контуритовых дрифтов в Восточно-Готландской и Гданьской впадинах Балтийского моря.

Материалы и методы

Использовались сейсмоакустические и литологические данные, полученных в экспедициях АО ИО РАН (рис. 1). Сейсмоакустические исследования выполнялись профилографом Innomar SES-2000 DEEP-36 (38 и 4 кГц) и однолучевым эхолотом Simrad EA 400SP (400 и 38 кГц). Изучены две колонки донных осадков: АСВ-54029 (длина 3,54 м, глубина 98,5 м) и АБП-44035 (длина 3,99 м, глубина 117 м) из Гданьской и Восточно-Готландской впадины, соответственно. Для литориновых и пост-литориновых осадков выполнены литолого-геохимические исследования. Гранулометрический анализ был выполнен на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 2300. Для геохимического анализа использовался рентгенофлуоресцентный

анализатор Olympus Vanta-C с серебряным анодом. В качестве показателей скорости придонных палеотечений использовалось отношение $\ln(\text{Zr/Rb})$ и средний размер частиц алевритовой фракции (10-63 мкм). Относительное содержание органического вещества в осадках оценивалось по значениям потерь при прокаливании (ППП). Стратиграфическое расчленение колонок выполнено на основе литологического описания с использованием абсолютного датирования методом AMS ^{14}C , выполненного в Радиоуглеродной лаборатории Познани. Корреляция верхних горизонтов колонок проведена по содержанию Pb [5].

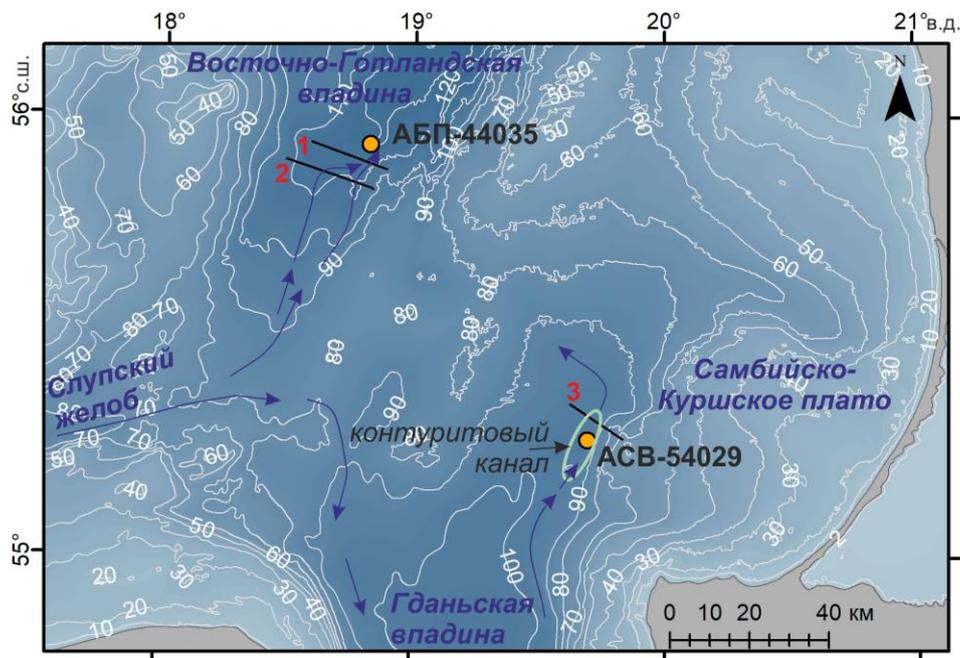


Рис. 1. Район исследования в юго-восточной части Балтийском море.

Показано положение рассмотренных сейсмоакустических профилей (черные линии), изученных колонок осадков (желтые кружки с цифровыми индексами) и путей распространения затоков североморских вод (синие стрелки).

Результаты и обсуждение

Сейсмоакустика. Основной поток североморских вод после выхода из Слупского желоба направляется в Восточно-Готландскую впадину. На её южном склоне выявлены две депрессии (канала) шириной около 1 км и относительной глубиной до 1,5-2,5 м (рис. 2, профиль 2). Каналы представляют собой реликтовое (западный) и современное (восточный) подводные «русла» контурных течений североморских вод. Западный канал заполнен литориновыми илами, тогда как на дне восточного канала обнажается морена. Поверхность моренных отложений, как на склонах впадины, так и погребенная, осложнена линейными, хаотично расположенными бороздами айсбергового выпаживания, частично заполненными литориновыми илами [1]. Прилегающие к каналам осадочные тела литориновых илов представляют собой контуритовые *русловые* дрифты.

Ниже по течению, у основания восточного склона впадины, каналы соединяются, образуя локальное углубление («plunge pool») с относительной глубиной 4 м, достигающее кровли морены. Объединенный канал хорошо

выражен у восточного склона впадины. Слева от канала располагается *отделённый* контуритовый дрейфт асимметричной формы, возникший в результате латерального переноса взвеси из ядра контурного течения на его периферию (рис. 2, профиль 1). Поверхность дрейфта осложнена многочисленными покмарками, указывающими на высокую газонасыщенность осадков. Покмарки ориентированы в ЮЗ-СВ направлении, имеют V-образную поперечную форму, длину до нескольких километров, ширину ~100-200 м и глубину около 2 м. Под покмарками отмечены акустические аномалии – прогибания рефлекторов и акустические окна.

Ближе к центру Восточно-Готландской впадины, на полого-наклонной равнине, скорость течения падает, и канал теряет морфологическую выраженность. Как следствие, асимметричный дрейфт трансформируется в *покровный (пластовый)* дрейфт.

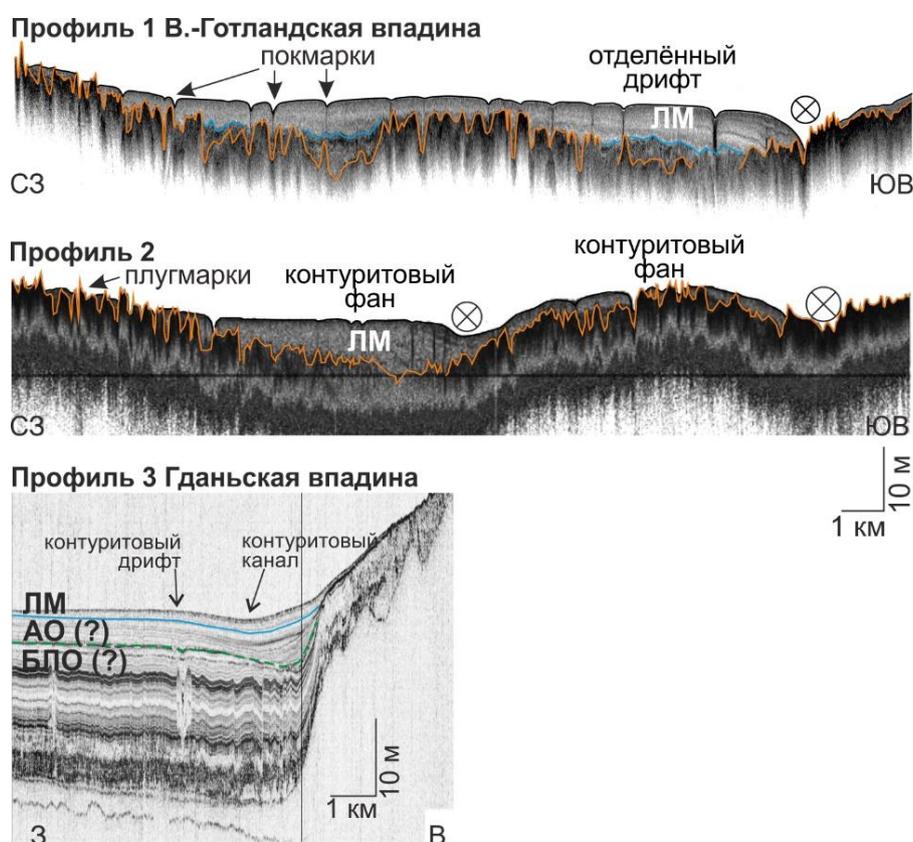


Рис. 2. Сейсмоакустические профили (4 и 38 кГц) в Восточно-Готландской и Гданьской впадинах: ЛМ – осадки Литоринового и Пост-литоринового моря, АО – осадки Анцилового озера, БЛО – осадки Балтийского ледникового озера.

В Гданьскую впадину поступает значительно меньше североморских вод по сравнению с Восточно-Готландской впадиной. Тем не менее, у подножия её относительно крутого восточного склона на глубине около 100 м также была обнаружена вытянутая депрессия (относительная глубина до 1,5 м, ширина около 1,5 км). Она сопрягается с пологим асимметричным контуритовым дрейфом (рис. 2, профиль 3). На сейсмозаписи прослеживается кровельное срезание параллельных облекающих рефлекторов, вероятно соответствующее границе осадков Балтийского ледникового озера и Анцилового озера.

Замедление осадконакопления озерных осадков предположительно могло быть обусловлено вертикальной конвекцией плотных зимних вод, поступающих с прибрежного Самбийско-Куршского плато, особенно в условиях относительно холодного климата раннего голоцена. Конвекция может приводить к возникновению присклоновых контурных течений. Подобный процесс описан для Северной Балтики [3].

Литология. Колонка АБП-44035 из Восточно-Готландской впадины представлена литориновыми илами, что подтверждено данными абсолютного датирования методом AMS ^{14}C ; колонка АСВ-54029 из Гданьской впадины – литориновыми илами (0-123 см) и анциловыми глинами (124-354 см) (рис. 3). Рост содержания Pb в обеих колонках является стратиграфическим маркером для Римского периода (~ 2 т. л.н.) [5].

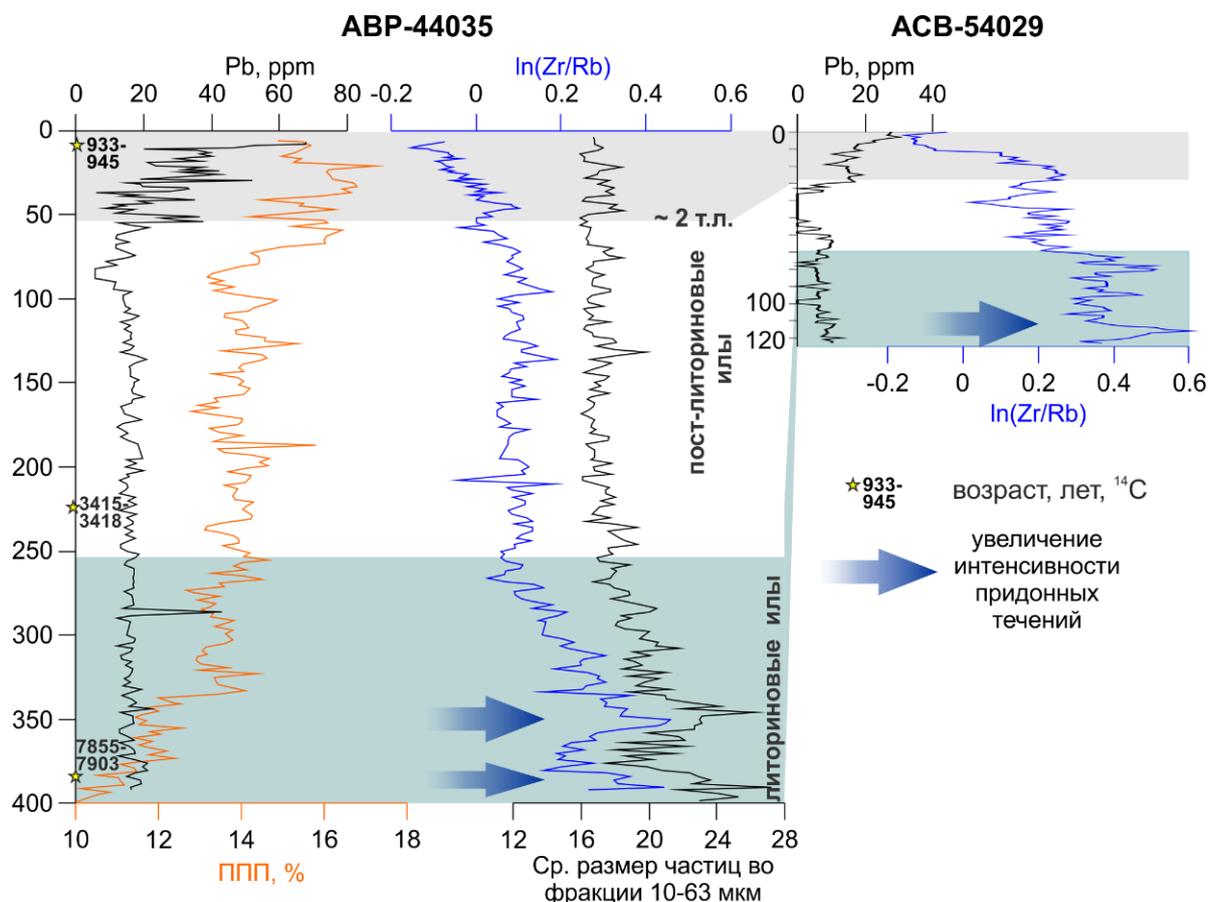


Рис 3. Результаты литолого-геохимических исследований колонок АБП-44035 и АСВ-54029.

В колонке АБП-44035 показатель $\ln(\text{Zr}/\text{Rb})$ коррелирует со средним размером частиц алевритовой фракции (10-63 мкм), который традиционно используется для изучения придонных палеотечений [2]. В обеих колонках повышенные значения $\ln(\text{Zr}/\text{Rb})$ соответствуют началу литориновой стадии, что указывает на более высокую скорость придонных палеотечений (Рис. 3). Низкое содержание органического вещества (ППП) в колонке АБП-44035, также отмеченное в начале литориновой стадии, предположительно указывает на благоприятные окислительные условия в придонных водах. В пост-литориновой

стадии (поздний голоцен) интенсивность придонных течений снижается, и, соответственно, содержание органического вещества в осадках повышается.

Выводы

Затоки североморских вод обусловили формирование в Восточно-Готландской впадине нескольких разновидностей контуритовых дрифтов (*русловой, отделённый, покровный*). Эрозионно-аккумулятивная пара (депрессия – дрифт), выявленная у подножия восточного склона Гданьской впадины, предположительно возникла во время озерных стадий Балтийского моря. Присклоновые течения могли быть инициированы конвекцией плотных вод, формирующихся зимой на прибрежном Самбийско-Куршском плато. Во время морской стадии в обеих впадинах придонные течения были наиболее интенсивными в начале литориновой трансгрессии.

Благодарности

Исследование контуритового дрифта в Гданьской впадине проведено в рамках проекта РФФ № 22-17-00170; экспедиционные исследования в Восточно-Готландской впадине и обработка сейсмоакустических данных выполнены при поддержке госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2021-0012).

Литература

- [1] *Dorokhov D.V.* Iceberg and ice-keel ploughmarks on the Gdansk-Gotland Sill (south-eastern Baltic Sea) / D.V. Dorokhov, E.V. Dorokhova, V.V. Sivkov // *Geo-Marine Lett.* 2018. V. 38. № 1. p. 83-94.
- [2] *McCave I.N.* Sortable Silt and Fine Sediment Size Composition Slicing - Parameters for Paleocurrent Speed and Paleoceanography / I.N. McCave, B. Manighetti, S.G. Robinson // *Paleoceanography.* 1995. V. 10. № 3. p. 593-610.
- [3] *Moros M.* Is 'deep-water formation' in the Baltic Sea a key to understanding seabed dynamics and ventilation changes over the past 7,000 years? / M. Moros, A. T. Kotilainen, I. Snowball, T. Neumann, K. Perner, H.E.M. Meier, T. Leipe, L. Zillén, J. S. Sinninghe Damsté, R. Schneider // *Quat. Int.* 2020. T. 550. p. 55-65.
- [4] *Sivkov V.* Muddy contourites in the Baltic Sea: an example of a shallow-water contourite system / V. Sivkov, V. Gorbatskiy, A. Kuleshov, Y. Zhurov // *Geol. Soc. London, Mem.* 2002. V. 22. № 1. p. 121-136.
- [5] *Zillén L.* Stable lead (Pb) isotopes and concentrations - A useful independent dating tool for Baltic Sea sediments / L. Zillén, C. Lenz, T. Jilbert // *Quat. Geochronol.* 2012. V. 8. № 1. p. 41-45.

S u m m a r y. Spatial scheme of contour currents influenced on sedimentation in the SE Baltic is specified on the base of seismoacoustic data. Channels (prolonged depressions) and corresponded accumulative bodies (contourite drifts) both formed under control of bottom currents were identified in the southern part of the Eastern Gotland Deep. In the north-eastern part of the Gdansk Deep a prolonged near-slope depression and adjoining low-sloping contourite drift are found. The depression is visible not only in marine but also in lake sediments (Early Holocene). Presumably, the initial lake stage of depression was conditioned by local vertical convection of dense winter waters from the nearby shallow areas because of the cold climate of Early Holocene. In the sediment cores, sampled in the contourite drifts, intensification of near-bottom currents of the North Sea water inflows is identified during Middle Holocene.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МОЛОГО-ШЕКСНИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕРА ЗМЕИНОЕ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А.Н. Суворова¹, Д.О. Садоков², А.Ю. Петров¹, Л.А. Савельева¹

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, st069392@student.spbu.ru, petrovalexey1987@gmail.com, l.savelieva@spbu.ru

²ФГБУ «Дарвинский государственный природный биосферный заповедник», г. Череповец, dmitriisadokov@gmail.com

VARIABILITY OF VEGETATION COVER IN THE MOLOGA-SHEKSNA LOWLAND DURING THE HOLOCENE ACCORDING TO THE STUDY OF ZMEINOYE LAKE: FIRST RESULTS

A.N. Suvorova¹, D.O. Sadokov², A.Yu. Petrov¹, L.A. Savelieva¹

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg

²Darwing Nature Reserve, Cherepovets

Аннотация. История изменений растительности в голоцене на территории Молого-Шекснинской низменности до сих пор имеет много неопределенных положений и противоречий. С целью изучения динамики растительности в голоцене методом спорово-пыльцевого анализа изучены озерно-болотные отложения озера Змеиное. На основе полученных и ранее опубликованных данных прослежено развитие растительного покрова в течение голоцена. Выполненная реконструкция показала большое разнообразие в распределении доминантов растительного покрова на исследуемой территории.

Ключевые слова: голоцен, Молого-Шекснинская низменность, спорово-пыльцевой анализ, озерно-болотные отложения.

Введение

Палеоботанические исследования Молого-Шекснинской низменности в голоцене необходимы для изучения эволюции ландшафтов, в частности растительности, после отступления Валдайского ледника и последующего их развития. Палинологическим исследованиям голоценовых отложений посвящено сравнительно мало работ, многие результаты которых противоречивы и редко подтверждены методами абсолютного датирования [1, 3, 4, 5, 7, 8].

Объекты и методы

В марте 2022 года авторами были проведены полевые работы на территории Дарвинского государственного заповедника, в ходе которых было пробурено озеро Змеиное (58°33'45.0" с.ш., 37°36'43.0" в.д.) (рис. 1), расположенное в пределах болотного массива «Большой мох». Бурение проводилось полуцилиндрическим торфяным буром. В результате получено 5 кернов по 1 м с перекрытием 0,2 м. Общая мощность колонки составила 4,09 м.

Исследуемые отложения представлены гомогенными органогенными илами (0,00-0,29 м; глубина указана от поверхности донных отложений) и торфянистым сапропелем (0,49-3,96 м), между которыми на глубине 0,29-0,49 м отмечен плавный переходный горизонт. Торфянистый темно-коричневый сапропель хорошей степени разложения имеет несколько тонких слоев оливкового цвета и отличается повышенным содержанием минеральной

фракции в нижней части. Горизонт подстилается минерализованным алевропелитом серо-черного цвета с тонкой слоистостью на глубине 3,96-4,09 м. В целом литологический состав отобранных отложений очень однородный.

Для определения времени формирования исследуемых отложений и реконструкции растительности в голоцене на территории Молого-Шекснинской низменности был использован метод спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования, а также корреляции с ранее опубликованными данными.

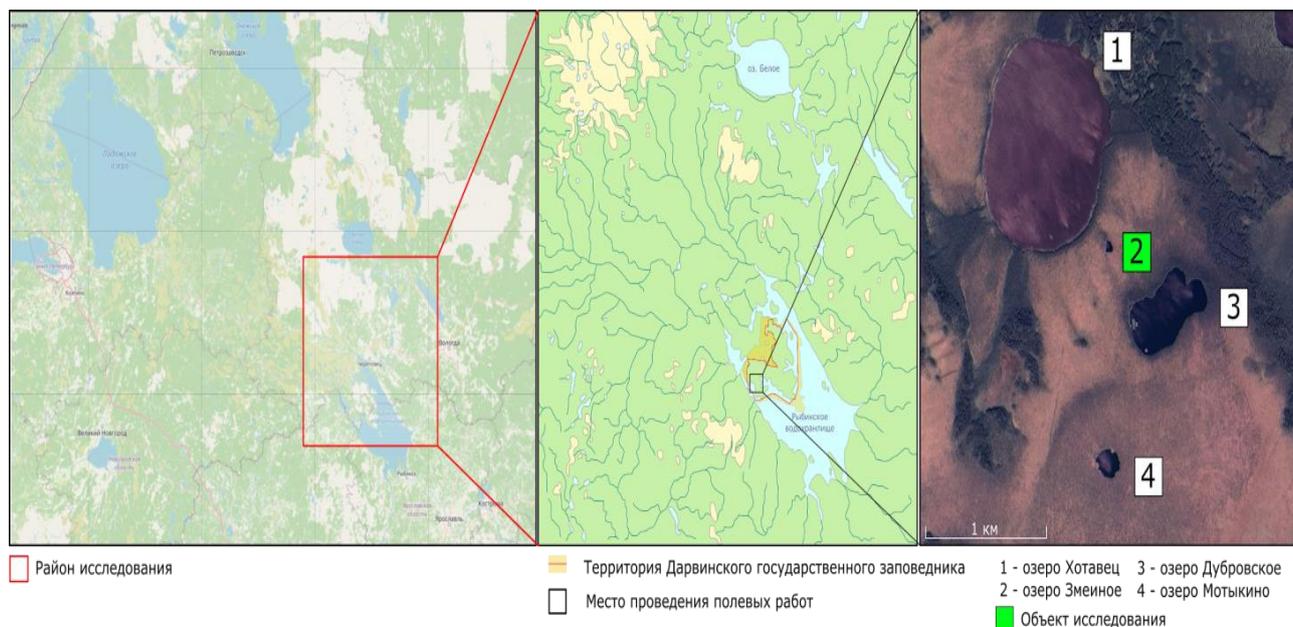


Рис. 1. Район исследования.

Для спорово-пыльцевого анализа отобраны образцы через каждые 10 см в количестве 40 штук. Пробоподготовка проведена по методике, предложенной К. Фаегри и Дж. Иверсеном, с применением плавиковой кислоты [9]. Все работы проводились в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. В.П. Кёпена» Института наук о Земле СПбГУ.

Результаты

Результаты спорово-пыльцевого анализа позволяют предположить, что вскрытые скважиной отложения начали формироваться в пребореальном периоде (по схеме Блитта-Сернандера). Однако для точного определения времени формирования отложений были отобраны образцы из кровли торфянисто-сапропелевого горизонта (0,49-0,65 м), средней (2,29-2,39 м) и нижней части колонки (3,99-4,09 м) на радиоуглеродное датирование. В настоящий момент получен радиоуглеродный возраст из подошвы торфянисто-сапропелевого горизонта, который составил 10330 ± 370 л.н. или 12040 ± 510 кал. л.н. (LU-10811). Значение календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «OxCal 4.4.4», калибровочная кривая «IntCal 20» (<https://c14.arch.ox.ac.uk>). Данный возраст не противоречит результатам палинологических исследований.

В пребореальный период на территории Молого-Шекснинской низменности были развиты сосново-березовые редколесья с примесью ели и ивы, в травянистом ярусе доминировали представители злаковых и осоковых. Позже, в бореальном периоде доминирующие таксоны оставались теми же, но снизилось участие трав в растительном покрове. В конце бореального периода появился вяз.

Атлантический период характеризовался появлением ели и ольхи и большим участием в лесах широколиственных пород (вяз, липа, ясень, клен, дуб). Доминантами по-прежнему оставались береза и сосна. Для растительного покрова суббореального периода на Молого-Шекснинской низменности характерно увеличение доли ольхи и дуба с сохранением березы и сосны как доминирующих таксонов. В субатлантическом периоде значительно увеличивается доля ели.

Результаты сопоставления полученных результатов с опубликованными данными показали, что в пребореальный период на большей части Молого-Шекснинской низменности и прилегающей к ней территории доминирующие таксоны были представлены березой или сосной, иногда – елью. Однако в скв. 105 (9, рис. 2,3) [4], расположенной в 125 км к северу от Рыбинского водохранилища, в спорово-пыльцевых спектрах этого времени доминировала пыльца полыни, что позволяет предположить существование открытых пространств, занятых растительностью тундрового типа. В бореальном периоде сохранялись те же доминанты - береза или сосна, за исключением скв. 54 (8, рис. 2,3) [4], где доминировала ель, скв. 1938 (14, рис. 2,3) [4] и скв. 3223 (15, рис. 2,3) [4], где помимо сосны и березы доминировали представители семейства осоковых.

На продолжении атлантического периода на большей части территории низменности на фоне господства березы или сосны, увеличивались площади, занятые елью. В скв. 3223 (15, рис. 2,3) [4] осоковые остаются доминирующими вместе с сосной. В течение суббореального периода, по имеющимся спорово-пыльцевым данным, на большей части рассматриваемой территории лесообразующей породой становится ель, только некоторые, возможно переувлажненные, участки были заняты березой и сосной. Важно отметить, что в скв. 1938 (14, рис. 2,3) [4], наравне с елью в спорово-пыльцевых спектрах доминируют представители семейства вересковых, а в скв. 3223 (15, рис. 2,3) [4] и скв. 4183 (16, рис. 2,3) [4], вместе с сосной и елью доминируют осоковые. В субатлантический период сосна или береза вновь становятся лесообразующими породами на большей части Молого-Шекснинской низменности. Отличаются районы, расположения скв. 1938 (14, рис. 2,3) [4], скв. 3223 (15, рис. 2,3) [4] и скв. 4183 (16, рис. 2,3) [4], где велико участие вересковых и злаковых.

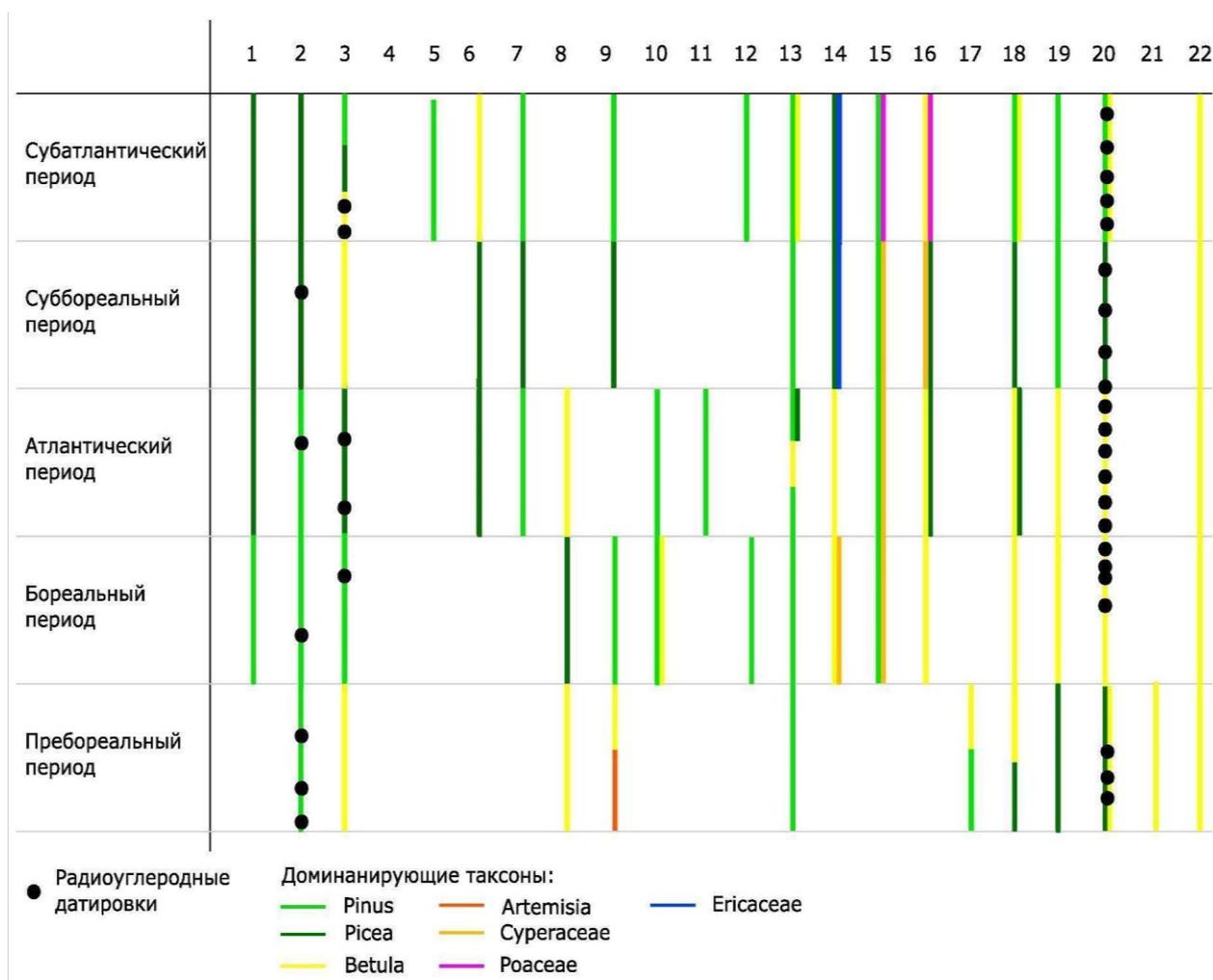


Рис. 2. Корреляция разрезов голоцена Молого-Шекснинской низменности.

1 – Орельское болото, скв. 303 [5], 2 – Дедово поле [1], 3 – Закозье [1], 4 – Кубенское озеро [2], 5 – скв. 6 [4], 6 – скв. 9 [4], 7 – скв. 25 [4], 8 – скв. 54 [4], 9 – скв. 105 [4], 10 – скв. 328 [4], 11 – скв. 563 [4], 12 – скв. 1510 [4], 13 – скв. 1766 [4], 14 – скв. 1938 [4], 15 – скв. 3223 [4], 16 – скв. 4183 [4], 17 – оз. Хотавец [7], 18 – Уломское болото [8], 19 – болото «Большой мох» [3], 20 – болото Серебрянниковское [6], 21 – р. Искра, скв. 2114, 22 – оз. Змеиное, болото «Большой мох».

Как видно на схеме корреляции (рис. 2) большинство разрезов, вскрывающие голоценовые отложения зачастую неполные и не имеют подтверждения времени образования радиоуглеродными датировками, за исключением разрезов «Дедово поле» (2, рис. 2) [1], «Закозье» (3, рис. 2) [1] и болота «Серебрянниковское» (20, рис. 2) [6]. В спорово-пыльцевых спектрах представленных разрезов попеременно доминирует пыльца сосны, березы и ели, в некоторых случаях пыльца полыней, представителей семейств осоковых и злаковых.

Выводы

Растительный покров Молого-Шекснинской низменности и прилегающей территории в голоцене отличался разнообразием доминантов и, вероятно, сильно зависел от местных условий. На ранних этапах голоцена на развитие растительности, возможно, оказывало влияние сохранение массивов мертвого погребенного льда вплоть до бореального периода. Гидрологические условия,

низменность территории способствовали образованию переувлажненных участков, на которых преобладали травянистые сообщества.

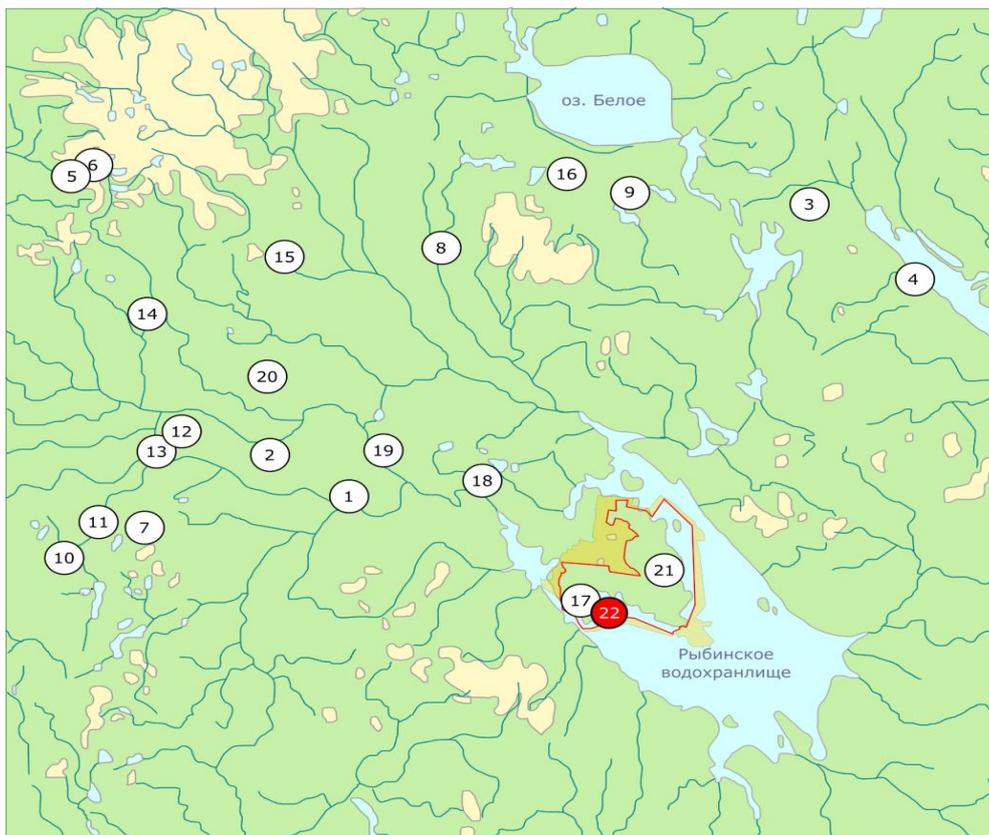


Рис. 3. Расположение разрезов, охватывающих голоцен, на Молого-Шекснинской низменности. Номера соответствуют номерам разрезов на рисунке 2.

Литература

- [1] Информационный отчет о результатах научно-исследовательских работ по «созданию регионального банка микропалеонтологических данных и уточнению микропалеонтологического обоснования стратиграфии четвертичных отложений севера и северо-запада Русской плиты» / книга 1; отв. исполнитель - Плешивцева Э.С. Санкт-Петербург, 2002. - Инв. № 27290.
- [2] История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины / Ред. В.И. Хомутова, Н.Н. Давыдова, и др. СПб.: Наука, 1998. 404 с.
- [3] Кордэ Н.В. Некоторые данные к истории болот Дарвинского государственного заповедника. Труды Дарвинского заповедника, вып. IX. Вологда, 1968. С. 94-103.
- [4] Отчет о геологической съемке бассейна р. Суды, 1976. Инв. № 13523.
- [5] Отчет о геологической съемке района г. Устюжны Вологодской области, 1964. Инв. № 6439.
- [6] Савельева Л.А. «Особенности миграции ели и ольхи в голоцене на Северо-Западе европейской части России (по данным палинологического анализа болотных и озерных отложений)». Диссертация на соискание научной степени кандидата географических наук, 2007.

- [7] Сапелко Т.В., Садоков Д.О. Палинология озер Молого-Шекснинской низменности. XV Всерос. палинологическая конференция, 2022. С. 316-320.
- [8] Хавин Е.И. Четвертичные отложения северной половины Молого-шекснинской низины, 1962. С. 109-121.
- [9] J Faegri K., Iversen. Textbook of Pollen Analysis. – The Blackburn Press, 1989. – P. 328.

S u m m a r y. The history of vegetation change during Holocene in the Mologa-Sheksna Lowland has still many uncertainties and contradictions. In order to study the vegetation dynamics during the Holocene, lake-swamp deposits of the Zmeinoe Lake were studied using pollen analysis. Based on obtained and previously published data, the vegetation development during the Holocene is traced. A great diversity in the dominant of trees and herbs taxa was revealed.

ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОРНЫХ РАЗРЕЗОВ ВЕРХНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.П. Фоменко^{1,2}, И.С. Зюганова³, С.С. Попова², Л.А. Савельева¹

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
st064793@student.spbu.ru, l.savelieva@spbu.ru*

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург,
svetlana.popova@binran.ru*

Институт географии РАН, Москва, iszyuganova@igras.ru

PALAEOBOTANICAL INVESTIGATIONS OF KEY SECTIONS OF THE UPPER PLEISTOCENE IN THE TVER REGION

A.P. Fomenko^{1,2}, I.S. Zyuganova³, S.S. Popova², L.A. Savelieva³

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg

Institute of Geography RAS, Moscow

Аннотация. Представлены результаты палеоботанического изучения разрезов погребенных озерно-болотных отложений на территории Тверской области. Работы включали спорово-пыльцевой и палеокарпологический анализы. В изученных разрезах установлена последовательность палинозон, характерная для микулинского (земского) межледниковья. Карпологическим методом выявлены остатки видов, характерных для микулинской флоры. Подтверждена принадлежность изученных отложений к микулинскому межледниковью.

Ключевые слова: *поздний плейстоцен, микулинское межледниковье, карпологический анализ, спорово-пыльцевой анализ.*

Введение

Исследования флоры и растительности последнего межледниковья, несмотря на их более, чем полувековую историю, не теряют актуальности; их результаты применяются как для реконструкции ландшафтов и климата позднего плейстоцена, так и для решения стратиграфических задач. В частности, палеоботаническая характеристика опорных разрезов позднего плейстоцена важна для решения таких проблем, как количественная оценка длительности микулинского межледниковья и его отдельных фаз [7, 8]. Следует отметить, что современный уровень исследований требует более высокой детальности данных, поэтому опубликованные в 1970-1980-х гг. материалы зачастую не подходят для

решения таких задач. Это делает необходимым повторное изучение опорных разрезов отложений микулинского межледниковья.

Объекты и методы

В 2021-2022 гг. авторами данной статьи было проведено палеоботаническое изучение разрезов на территории Тверской области: Большая Дубенка и Малая Коша. Целью этих исследований было подтверждение принадлежности представленных в них погребенных озерно-болотных отложений к микулинскому межледниковью и выделение отдельных его фаз. Для этого авторами были выполнены спорово-пыльцевой и палеокарпологический (определение субфоссильных семян и плодов) анализы. В изученных разрезах были отобраны вертикальные серии образцов для установления последовательностей спорово-пыльцевых и карпологических комплексов, отражающих развитие растительности на протяжении межледниковья. Лабораторная обработка образцов проводилась согласно существующим методикам [5, 9].

Результаты и их обсуждение

Разрез Большая Дубенка. Погребенные озерно-болотные отложения представлены алевритами, торфом и гиттиями. По результатам спорово-пыльцевого анализа здесь была установлена последовательность локальных палинозон, характерная для микулинского межледниковья (пыльцевые зоны М1 – М7 биостратиграфической схемы В.П. Гричука [4]). Они соответствуют начальным фазам межледниковья (зоны М1 – М4), его климатическому оптимуму (зоны М5 – М6) и постоптимальной фазе (зона М7).

Находки карпологических остатков приурочены, в основном, к горизонту торфа. Были определены остатки древесных растений: многочисленные орешки и плодовые чешуи берёзы (*Betula sect. Betula*) и единичные орешки ольхи, а также семя ели. Отмечены остатки умеренно-термофильных водных растений: *Stratiotes aloides*, *Lemna trisulca*, *Ceratophyllum demersum*. Болотные и прибрежно-водные растения представлены плодами и семенами *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Carex* sp., *Scirpus* sp. Кроме того, отмечены единичные остатки луговых растений – *Stachys annua*, *Fragaria vesca*, *Potentilla reptans*. Локальные карпологические комплексы (ЛКК) сходного состава известны из других разрезов верхнего плейстоцена на территории Тверской области, как из отложений начальных или завершающих фаз микулинского межледниковья, так и из нижневалдайских интерстадиальных отложений [3, 11]. Сопоставление с палинологическими данными показало, что ЛКК разреза Большая Дубенка относятся к верхней части пыльцевой зоны М2, зоне М3 и началу зоны М4, т.е. к начальному этапу микулинского межледниковья.

Разрез Малая Коша. Погребенные озерно-болотные отложения представлены здесь суглинками и гиттиями с оторфованными прослоями. В них установлена последовательность локальных палинозон, которые отвечают зонам М1 – М6 биостратиграфической схемы В.П. Гричука [4] и охватывают большую часть микулинского межледниковья, включая его климатический оптимум.

В рассматриваемом разрезе можно выделить два карпологических комплекса. ЛКК МК-1 отвечает нижней части толщи, представленной опесчаненной и темно-серой гиттией. В нём преобладают остатки прибрежно-водных растений, представленных плодами *Cladium mariscus*, *Schoenoplectus lacustris* и *Carex* sp. Отмечены остатки водных растений: семена *Najas marina* и *Caulinia flexilis*, эндоспермы рдестов. Остатки древесных пород представлены, в основном, орешками ольхи. Кроме того, определены остатки широколиственных пород: плюски дуба (*Quercus robur*) и плоды липы (*Tilia tomentosa*, *Tilia* sp.). Также найдены фрагменты скорлупы орехов лещины. ЛКК МК-2 выделяется по резкому снижению количества плодов *Schoenoplectus lacustris* и увеличению содержания орешков ольхи. Остатки широколиственных пород деревьев представлены немногочисленными плодами липы. Остатки водных растений отмечены в единичных количествах и не во всех образцах. Возрастает участие остатков растений важных местообитаний (*Lycopus europaeus*, *Thalictrum lucidum*) и нарушенных почв (*Oxybasis rubra*, *Rumex* sp.).

Большинство видов, установленных карпологическим методом ныне широко распространены в современной флоре бассейна Верхней Волги. Исключение составляет липа войлочная (*Tilia tomentosa*) – характерный вид для Балкано-Южно-Карпатского флористического региона [10]. По карпологическим данным, в микулинском (ээмском) межледниковье этот вид был распространен намного шире своего современного ареала [3]. Кроме того, присутствуют виды прибрежных и водных растений, также характерные для микулинской флоры: *Cladium mariscus*, *Najas marina* и *Caulinia flexilis*. Всё это позволяет отнести полученные комплексы к наиболее теплообеспеченным фазам микулинского межледниковья. Сопоставление с палинологическими данными показало, что ЛКК МК-1 соответствует концу пыльцевой «зоны дуба и вяза» М4 и первой половине «зоны липы» М5. ЛКК МК-2 отвечает второй половине зоны М5 и началу «зоны граба» М6, т.е. климатическому оптимуму микулинского межледниковья.

Карпологические комплексы, полученные из рассмотренных разрезов, характеризуют большую часть микулинского межледниковья (пыльцевые зоны М2 – М5). Следует отметить, карпологические данные отражают, в первую очередь, изменения локальной (водной и прибрежной) растительности, и поэтому границы ЛКК зачастую не совпадают с границами локальных пыльцевых зон, выделенных в тех же разрезах. Тем не менее, в разрезе Малая Коша плоды *Tilia tomentosa* встречаются только в интервале, соответствующем пыльцевой зоне М5, где наблюдается максимальное содержание пыльцы липы. Остатки умеренно-термофильных видов в изученных разрезах начинают встречаться в отложениях, отвечающим начальным фазам межледниковья, т.к. водные растения более чутко реагируют на потепление климата и расселяются быстрее, чем древесные породы. Наиболее разнообразные по составу карпологические комплексы приурочены к отложениям мелководных, хорошо прогреваемых озер, заболоченных в краевой части. Зачастую эти отложения отвечают оптимальным фазам микулинского межледниковья.

Выводы

Проведенные исследования позволяют уверенно отнести погребенные озерно-болотные отложения в изученных разрезах к микулинскому межледниковью. Это хорошо согласуется с данными предыдущих исследователей [1, 6]. Последовательность пыльцевых зон позволила охарактеризовать большую часть межледниковья, включая его климатический оптимум и выполнить биостратиграфическое расчленение разрезов. Палеокарпологический анализ позволил выявить ряд видов, характерных для микулинской флоры. Полученные результаты будут использованы для дальнейших исследований рассмотренных разрезов радиометрическими методами ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирование озерно-болотных отложений), направленных на количественную оценку возраста и длительности микулинского межледниковья.

Благодарности

Спорово-пыльцевой анализ выполнен при финансовой поддержке РФФИ по проекту № 20-05-00813. Часть исследований выполнена в рамках госзадания Ботанического института РАН тема № № 122011900029-7 (анализ растительных макроостатков). Обработка палеокарпологических данных выполнена в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005).

Литература

- [1] *Ананова Е.Н., Заррина Е.П., Казарцева Т.И., Краснов И.И.* Новые данные по стратиграфии межледниковых отложений на реках Малая Коша и Большая Дубенка (верховья Волги) // Бюлл. Комисс. по изуч. четвертичного периода. 1973. № 40. С. 22-34.
- [2] *Величкевич Ф.Ю.* Новые данные о микулинских семенных флорах Калининской области // Проблемы плейстоцена. Минск: Наука и техника, 1985. С. 159-173.
- [3] *Величкевич Ф.Ю.* Плейстоценовые флоры ледниковых областей Восточно-Европейской равнины. Минск: Наука и техника, 1982. 239 с.
- [4] *Гричук В.П.* Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений Северо-Запада Русской равнины. М.: Изд. АН СССР, 1961. С. 25-71.
- [5] *Гричук В.П., Заклинская Е.Д.* Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 175 с.
- [6] *Краснов И.И., Колесникова Т.Д.* Новые данные о межледниковых отложениях в бассейне Верхней Волги // Бюлл. Комисс. по изуч. четвертичного периода. М.: Наука, 1967. № 33. С. 140-146.
- [7] *Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Савельева Л.А., Григорьев В.А., Петров А.Ю., Фоменко А.П., Баранова Н.Г.* К вопросу о временных границах микулинского межледниковья и его отдельных фаз // Пути эволюционной географии. Выпуск 2: Материалы II Всероссийской Науч. конф. М.: Институт географии РАН, 2021. С. 812-816.

- [8] Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Попова С.С., Зюганова И.С., Григорьев В.А., Левченко С.Б., Петров А.Ю., Фоменко А.П., Панкратова Л.А., Кузнецов В.Ю. Хроностратиграфическое положение микулинских отложений (на примере опорного разреза у д. Нижняя Боярщина, Смоленская область) // Известия РАН, сер. геогр. 2022. Т. 86. №3. С. 447-469. [https://doi: 10.31857/S2587556622030116](https://doi.org/10.31857/S2587556622030116)
- [9] Никитин В.П. Палеокарпологический метод. Томск: ТГУ, 1969. 82 с.
- [10] Moesel H., Jager E., Rauschert S., Weinert E. Vergleichende Chorologie der Zentraleuropaischen Flora. Gustav Fischer Verlag, Jena. 1978.
- [11] Zyuganova I.S. Upper Pleistocene carpological assemblages from the South of the Valdai Upland // Paleontol. J. 2009. № 43. P. 1351-1362. [https://doi: 10.1134/S0031030109100165](https://doi.org/10.1134/S0031030109100165)

S u m m a r y. The results of palaeobotanical investigations of the buried lacustrine-swamp deposit sections in the Tver region are presented in the paper. Palynological and palaeocarpological analyses were performed. The sequence of pollen zones, characteristic of the Mikulino (Eem) interglacial, was revealed in the studied sections. Some species characteristic of the Mikulino flora were determined using palaeocarpological method. The attribution of the studied deposits to the Mikulino (Eem) Interglacial is confirmed.

CONTENT

GEOGRAPHY IS THE BASIS OF WORLD MODELING

<i>Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N.</i> Institutional structure of the educational space of Russia	7
<i>Alcova E.I.</i> Geographical education for all! Is it possible to?	13
<i>Voytekhovskiy Yu.L.</i> About the creative heritage of A.E. Fersman: to the 140th anniversary of his birth.....	17
<i>Golubchikov Yu.N., Kruzhalin V.I.</i> The value of geotourism in the conservation of geoheritage	24
<i>Grigoriev A.I.A.</i> Stone formations of the planet - the likenesses of ancient statues as attractive objects of tourism	31
<i>Korobov V.B.</i> Geography and anarchism	37
<i>Marsadolov L.S., Paranina A.N., Paragin R.V.</i> 283 years of state monitoring the Great Salbyk kurgan in Khakasia.....	42
<i>Retejum A.Ju.</i> On the Solar-Jovian system.....	54
<i>Rozanov L.L.</i> The concept of the geoecological picture of the world.....	63
<i>Savvateeva O.A.</i> 160 years anniversary since V.I. Vernadsky birth as special direction of the Dubna Moscow region continuous environmental education system.....	68
<i>Sheinkman V.S., Kashdan A.Y.</i> Interpretation of geological work and relics of glaciers on the principle of actualism and from the position of interaction of glaciation and permafrost.....	72

MODERN QUESTIONS OF PHYSICAL GEOGRAPHY

<i>Anokhin V.M., Pronina A.V., Shikhirina K.A.</i> Regularities of orientation of linear forms of the sub-ice relief of Antarctica.....	84
<i>Borodulina G.S.</i> Springs on the territory of Karelia.....	89
<i>Vlasova D.V., Kuzmin K.A., Pankov S.V.</i> Structure of the Kashma river basin in the Tambov region according to morpho- metric indicators of relief.....	94
<i>Voevodin A.A., Zhelnova D.I., Aleinikov A.M.</i> Dynamics of level changes in the Caspian sea 2016-2023.....	98
<i>Vyatkin E.D.</i> Analysis of the dynamics of a dune massif on the left bank of the Shoyna river ac- cording to remote sensing data.....	102
<i>Gradin B.E., Degusarova V.S.</i> Geographical aspects of landscape planning of the southern suburbs of St. Petersburg...	107
<i>Debolskaya E.I.</i> Historical essay of Indiga bay research.....	113
<i>Dudakova D.S., Anokhin V.M., Pronina A., Ulitchev V.I.</i> The experience of using side-view sonar in the study of bottom landscapes of lake Ladoga on the example of Haukaysenlahti bay of Kuhka island	118
<i>Efimova K.A., Mikhnevich G.S.</i> Morphodynamics of the lagoon coast of the Curonian spit in the winter season 2022-	

2023.....	123
<i>Ivanova Ye.D.</i> Ecostructural analysis of benthic foraminiferal complexes from the bay of Tonkin, Vietnam (on the example of core LV88-55 GC).....	128
<i>Isupova M.V., Dolgopolova E.N.</i> Water budget of the Pechora and Kolyma deltas, and changes of its components.....	133
<i>Kotova E.I., Korobov V.B.</i> Investigation of spatial heterogeneity of long-range transport in the southeastern part of the Dvinsky bay of the White sea.....	138
<i>Maslikova O.Ya., Gritsuk I.I., Ionov D.N.</i> Investigation of the movement of the meander during the movement of the earth's crust under the conditions of the permafrost.....	144
<i>Nizovtsev V.A., Erman N.M., Kobzeva J.A.</i> Formation of the first landscape management systems in Central Russia.....	149
<i>Ostiakova A.V., Korolev M.V.</i> Investigation of the mechanism of slope collapse under the action of hydrostatic pressure when filtering in talik.....	154
<i>Piatov I.M.</i> Classification of the lake Ladoga shores using satellite images	160
<i>Sidorchuk A.Yu., Tarbeeva A.M.</i> Humidity change in the territory of the Novoportovskoye field on the Yamal peninsula..	163
<i>Strahovenko V.D., Malov V.I., Ovdina E.A., Malov G.I.</i> Autigenic mineral formation in the bottom sediments of high-altitude lakes of Altai under conditions of nival sedimentogenesis.....	166
<i>Tokranov A.M.</i> Species composition and relative abundance of the sculpins (cottidae) in the coastal zone of Starichkov island two years after harmful algal bloom in autumn 2020.....	171
<i>Tolstikov A.V., Chernov I.A., Baklagin V.N., Galakhina N.E.</i> Numerical simulation of simpagic ecology of the White sea	176
<i>Chalov S.R., Magritsky D.V., Prokopeva K.N., Garmaev E.Zh.</i> Expedition research in the Lena river delta in 2022.....	181
<i>Shikhirina K.A.</i> Krugloe lake: one-year some physical and chemical characteristics monitoring (Luga region, Leningrad oblast, Russia).....	186
<i>Shikhirina K.A., Mironova A.D., Malkova P.P.</i> To the question of the origin of Raskopelsky and Lakhta bays' coasts of lake Peipus.	193
POLAR RESEARCH	
<i>Baek Young Jun, Dorofeeva L.A., Shadrin A.I.</i> Study of scientific support of interaction between the Russian Federation and the Republic of Korea for the development of the Arctic.....	197
<i>Dolgopolova E.N., Isupova M.V., Mikhailova M.V.</i> Ice jams and floods at the subarctic mouths.....	201
<i>Joung Hun Kim, Song Lee</i> Implications and prospects for South Korea as it celebrates the 10th anniversary of observer status in the Arctic Council.....	206
<i>Kim Ja-Young</i> Digitization of the linguistic and cultural heritage of the indigenous peoples of the Arctic and Chat GPT.....	210
<i>Kondratov N.A.</i> Development of the Northern sea route in the XXI century.....	213
<i>Pechkin A.S., Krasnenko A.S., Starostin S.A., Starostina S.I., Sirovadko N.A.</i>	

Dynamics of the processes of thawing and freezing of the underlying surface of the Arctic zone according to the SMOS satellite.....	218
---	-----

LIMNOLOGY AND MEROMICTIC LAKES IN RUSSIA

<i>Anikanov N.M., Khlebko V.I., Yakovlev A.S., Babin A.V., Voyakina E.Y.</i> Limnological parameters of Leschovoyelake in june 2022.....	224
<i>Belkina N.A., Potakhin M.S., Subetto D.A., Ryabinkin A.V., Kuharev V.I., Kravchenko I.Y., Kulik N.V., Efremenko N.A., Gatal'skaya E.V.</i> Processes of formation of bottom sediments in lake Vendyurskoye (South Karelia)...	228
<i>Vakhrameeva E.A., Kokryatskaya N.M.</i> Characteristics of bottom sediments of lakes separated from the Kandalaksha bay of the White sea.....	231
<i>Gubin V.N., Arkhipenko T.V.</i> Latest geodynamics of lake water bodies in Belarus.....	235
<i>Demidenko N.A., Savvichev A.S.</i> Hydrological conditions and microbial processes in the reservoirs of Kanda bay, separated from the White sea	240
<i>Kokryatskaya N.M., Losyuk G.N., Krasnova E.D., Popov S.S., Titova K.V., Voronov D.A.</i> Hydrochemical parameters of water bodies of Poria guba bay in the White sea.....	245
<i>Krasnova E.D., Voronov D.A., Zhiltsova A.A., Sokolovskaya Yu.G., Patsaeva S.V.</i> Correlation of optical density in the near UV range and salinity in surface waters of coastal stratified water bodies at different stages of isolation from the White sea.....	250
<i>Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M., Vakhrameyeva E.A.</i> Sulfur geochemistry in bottom sediments of the lake Elovoe (Kandalakshskiy bay of the White sea).....	255
<i>Marchenko J.T., Malavenda S.S., Krasnova E.D., Voronov D.A., Skazina M.A., Strelkov P.P.</i> Peculiarities of mussel <i>Mytilus</i> populations from meromictic waterbodies.....	259
<i>Mindolina Y.V., Krasnova E.D., Voronov D.A., Plotnikov A.O.</i> Taxonomic composition of protist communities in a coastal stratified lagoon on cape Zeleny (Kandalaksha bay, White sea).....	264
<i>Nemirovskaya I.A., Budko D.F.</i> Organic compounds and metals in sediments of separated water bodies of the Kandalaksha bay of the White sea.....	269
<i>Patsaeva S.V.</i> The features of spectroscopic study of dissolved organic matter in the meromictic water bodies.....	274
<i>Polunina U.Ju., Krasnova E.D., Voronov D.A.</i> The composition and vertical distribution of zooplankton in the stratified lagoons on the White sea coast in september 2022.....	279
<i>Postevaya M.A., Dauvalter V.A., Slukovskii Z.I., Denisov D.B.</i> Trophic status and limiting factors of lakes trophicity in Murmansk.....	284
<i>Selivanova E.A., Mindolina Y.V., Khlopko Y.A., Krasnova E.D., Voronov D.A., Plotnikov A.O.</i> Vertical structure of prokaryote communities in the meromictic lake Kislo-Sladkoe (Kandalaksha bay, White sea).....	289
<i>Sokolovskaya Yu., Zhiltsova A., Filippova O., Krasnova E., Voronov D., Patsaeva S.</i> Depth distribution of dissolved organic matter and phototrophic bacteria in the lagoon on the cape Zelenyi in september 2022.....	294
<i>Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Zaharova E.E., Moreva O.Yu., Popov S.S.</i> Destruction processes of organic matter in the water of small lakes of the Big Solovetsky Island	299
<i>Shevchenko V.P., Kokryatskaya N.M., Belorukov S.K., Vakhrameeva E.A., Kotova E.I., Starodymova D.P., Chupakov A.V., Yakovlev A.E.</i>	

Grain size and macroelemental composition of bottom sediments of lakes in the Primorsky district of the Arkhangelsk region.....	304
PALEOGEOGRAPHIC AND PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES	
<i>Borisova O.K., Naryshkina N.N.</i> Dynamics of plant communities in response to abrupt short-term climate changes at the last glaciation / holocene transition.....	309
<i>Borisova O.K., Naryshkina N.N.</i> Marine oxygen isotope stage 3 – failed interglaciation.....	314
<i>Bortsov A.V.</i> Evolution of natural conditions and geocryological of the Norilsk foothill depression in the late neoplistocene-holocene.....	319
<i>Kashdan A.Y., Sheinkman V.S.</i> Reconstruction of ice flow dynamics in the eastern sector of the Kara ice sheet.....	323
<i>Koroleva T.A., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Petrov A.Yu., Grigoriev V.A., Savelieva L.A., Fomenko A.P.</i> Geochronological study of late pleistocene lake-marsh deposits of the Russian plain using ²³⁰ Th/U dating and paleobotanical methods.....	328
<i>Kosheleva E.A.</i> Vegetation of the periglacial zone valdai glaciation of Eastern Fennoscandia.....	333
<i>Mikhnevich G.S., Modanova E.V., Ordina L.S., Rachipa V.</i> Features of the geological structure of the northwestern part of the Kaliningrad peninsula.....	337
<i>Paranin R.V.</i> Armored clay balls in the quaternary deposits of the Prineva lowland as indicators of paleoflows.....	343
<i>Potakhin M.S., Belkina N.A., Ryabinkin A.V., Myasnikova N.A., Kublitsky Yu.A., Orlov A.V., Subetto D.A.</i> Study of depression and bottom sediments of Lososinskoye reservoir.....	350
<i>Repkina T.Yu., Kublitsky Yu.A., Leontiev P.A., Vakhrameeva E.A., Orlov A.V., Levkova D.N., Komagorova M.A.</i> Studying the rhythms of coastal eolic processes using paleolimnological methods (Letnyaya Zolotitsa bay, Onega peninsula of the White sea).....	353
<i>Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Neevin I.A., Taldenkova E.E., Budanov L.M., Zhamoida V.A., Nosevich E.S., Pushina Z.V., Grigoriev A.G., Bashirova L.D., Ponomarenko E.V.</i> New data on paleogeographical development of East-Siberian sea in late pleistocene - holocene	359
<i>Sivkov V.V., Dorokhova E.V., Dorokhov D.V., Laskina D.N.</i> Contourite drifts of the Eastern Gotland and Gdansk deeps of the Baltic sea.....	364
<i>Suvorova A.N., Sadokov D.O., Petrov A.Yu., Savelieva L.A.</i> Variability of vegetation cover in the Mologa-Sheksna lowland during the holocene according to the study of Zmeinoye lake: first results.....	369
<i>Fomenko A.P., Zyuganova I.S., Popova S.S., Savelieva L.A.</i> Palaeobotanical investigations of key sections of the upper pleistocene in the Tver region.....	374
CONTENT.....	379

Научное издание

LXXVI Герценовские чтения
География: развитие науки и образования

Материалы Международной научно-практической конференции
19–21 апреля 2023 года

В 2-х томах
Том I

LXXVI Gertsenovskiy readings
Geography: development of science and education
Materials of the International Scientific and Practical Conference
on April 19–21, 2023

In 2 volumes
Part I

Подготовка оригинал-макета *А. Н. Параниной*
Дизайн обложки *Р. В. Паранина*

Печатается с готового оригинал-макета, в авторской редакции

Подписано в печать 12.05.2023. Формат 60 × 84 ¹/₁₆
Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 24,0. Тираж 500 экз. (1-й завод — 60 экз.) Заказ № 186к

Типография РГПУ им. А. И. Герцена
191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48