

www.aurora-group.eu

ISSN 2453-8922

www.nbpublish.com

АРКТИКА и АНТАРКТИКА

AURORA Group s.r.o.
nota bene

Выходные данные

Номер подписан в печать: 22-03-2025

Учредитель: Даниленко Василий Иванович, w.danilenko@nbpublish.com

Издатель: ООО <НБ-Медиа>

Главный редактор: Васильчук Юрий Кириллович, доктор геолого-минералогических наук,
vasilch_geo@mail.ru

ISSN: 2453-8922

Контактная информация:

Выпускающий редактор - Зубкова Светлана Вадимовна

E-mail: info@nbpublish.com

тел.+7 (966) 020-34-36

Почтовый адрес редакции: 115114, г. Москва, Павелецкая набережная, дом 6А, офис 211.

Библиотека журнала по адресу: http://www.nbpublish.com/library_tariffs.php

Publisher's imprint

Number of signed prints: 22-03-2025

Founder: Danilenko Vasiliy Ivanovich, w.danilenko@nbpublish.com

Publisher: NB-Media Ltd

Main editor: Vasil'chuk Yurii Kirillovich, doktor geologo-mineralogicheskikh nauk,
vasilch_geo@mail.ru

ISSN: 2453-8922

Contact:

Managing Editor - Zubkova Svetlana Vadimovna

E-mail: info@nbpublish.com

тел.+7 (966) 020-34-36

Address of the editorial board : 115114, Moscow, Paveletskaya nab., 6A, office 211 .

Library Journal at : http://en.nbpublish.com/library_tariffs.php

Редакционный совет

Васильчук Юрий Кириллович - председатель редакционного совета, доктор геолого-минералогических наук, действительный член Российской академии естественных наук, профессор кафедры геохимии и ландшафтов и географии почв Географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, Главный корпус МГУ, сектор "А", ауд 2009, vasilch_geo@mail.ru

Алексеев Сергей Владимирович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом гидрогеологии, Институт земной коры СО РАН Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Брушков Анатолий Викторович - доктор геолого-минералогических наук, зав. кафедрой геокриологии, геологический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, сектор А, 3 этаж, г. Москва, Россия, 119234.

Буданцева Надежда Аркадьевна - кандидат географических наук, старший научный сотрудник, географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, сектор А, 17 и 21 этаж, г. Москва, Россия, 119234.

Бычков Андрей Юрьевич - доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геохимии, геологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, г. Москва, Россия, 119234.

Васильчук Алла Константиновна - доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, Ленинские Горы, 1, сектор Ж, 9 этаж, лаборатория геоэкологии Севера, г. Москва, Россия, 119234. alla-vasilch@yandex.ru

Власов Александр Николаевич - доктор технических наук, директор Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН).

125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект д.7.

Геннадиев Александр Николаевич - доктор географических наук, профессор кафедры геохимии и ландшафтов и географии почв Географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, Главный корпус МГУ, сектор "А", кабинет 2009. alexagenna@mail.ru

Герасимова Мария Иннокентьевна, доктор биологических наук, профессор кафедры геохимии и ландшафтов и географии почв Географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. maria.i.gerasimova@gmail.com
119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, Главный корпус МГУ, сектор "А", ауд 2007. maria.i.gerasimova@gmail.com

Дроздов Дмитрий Степанович - доктор геолого-минералогических наук, Заместитель директора Института криосферы Земли СО РАН,
Москва, Вавилова, 30/6, комн.22, 119991.

Кирпотин Сергей Николаевич - доктор биологических наук, профессор Томского государственного университета, директор Центра исследований биоты, климата и ландшафта BioClimLand.

Просп. Ленина, дом. 36. Томск, Россия, 634050.

Кислов Александр Викторович - доктор географических наук, действительный член Российской академии естественных наук, профессор, зав. кафедрой метеорологии и климатологии, географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, сектор А, 20 этаж, г. Москва, Россия, 119234.

Михаленко Владимир Николаевич - доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, институт географии РАН (ИГ РАН).

Старомонетный переулок, дом 29 г. Москва, Россия, 119017.

Рогов Виктор Васильевич - доктор географических наук, профессор кафедры криолитологии и гляциологии, географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, сектор А, 19 этаж, г. Москва, Россия, 119234.

Фролова Наталья Леонидовна - доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой гидрологии, географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Главное здание МГУ им. М.В.Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, сектор А, 17 этаж, г. Москва, Россия, 119234.

Хименков Александр Николаевич - кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник.

Институт геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН).
Уланский переулок, дом 13, строение 2, а/я 145. г. Москва, Россия, 101000.

Чижова Юлия Николаевна - кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН),
г. Москва, ул. Старомонетный переулок д. 17, 109017

Алексеев Сергей Владимирович - доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Заведующий лабораторией гидрогеологии, 664033, Россия, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, каб. 318, salex@crust.irk.ru

Галкин Александр Фёдорович - доктор технических наук, Институт мерзлотоведение им.П.И.Мельникова СО РАН, Главный научный сотрудник, 677010, Россия, республика Саха(Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, 4-1, afgalkin@yandex.ru

Луговской Александр Михайлович - доктор географических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК),
профессор кафедры географии факультета картографии и геоинформатики , 1090548,
Россия, Московская область, г. Москва, ул. Шоссейная, 13, оф. 49, alug1961@yandex.ru

Яковенко Наталия Владимировна - доктор географических наук, ВГЛТУ им. Г.Ф.
Морозова, директор НИИ ИТЛК, 394068, Россия, Воронежская область, г. Voronezh, бул.
Олимпийский, 6, кв. 334, n.v.yakovenko71@gmail.com

Council of Editors

Vasilchuk Yuri Kirillovich - Chairman of the Editorial Board, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Geochemistry and Landscapes and Soil Geography of the Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University.

119234, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1, Main Building of Moscow State University, sector "A", aud 2009, vasilch_geo@mail.ru

Alekseev Sergey Vladimirovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Hydrogeology, Institute of the Earth's Crust SB RAS Institute of the Earth's Crust SB RAS,
664033, Russia, G.Irkutsk, ul. Lermontov, 128

Brushkov Anatoly Viktorovich - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Geocryology, Geological Faculty of Lomonosov Moscow State University.
The main building of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory str., 1, Sector A, 3rd floor, Moscow, Russia, 119234.

Budantseva Nadezhda Arkadyevna - Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.
The main building of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory str., 1, Sector A, 17th and 21st floor, Moscow, Russia, 119234.

Andrey Yuryevich Bychkov - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geochemistry, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University.
Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory str., 1, Moscow, Russia, 119234.

Vasilchuk Alla Konstantinovna - Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.
The main building of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, sector Z, 9th floor, Laboratory of Geoeontology of the North, Moscow, Russia, 119234. alla-vasilch@yandex.ru

Vlasov Alexander Nikolaevich - Doctor of Technical Sciences, Director of the Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Applied Mechanics of the Russian Academy of Sciences (IPRIM RAS).
7 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125040, Russia.

Gennadiev Alexander Nikolaevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geochemistry and Landscapes and Soil Geography of the Faculty of Geography of the Lomonosov Moscow State University.

119234, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, Moscow State University, Sector "A", Office 2009.
alexagenna@mail.ru

Gerasimova Maria Innokentievna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Geochemistry and Landscapes and Soil Geography of the Faculty of Geography of the Lomonosov Moscow State University. maria.i.gerasimova@gmail.com

119234, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, Moscow State University, sector "A", room 2007.
maria.i.gerasimova@gmail.com

Drozdov Dmitry Stepanovich - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director of the Institute of the Earth's Cryosphere SB RAS,

Moscow, Vavilova, 30/6, room.22, 119991.

Kirpotin Sergey Nikolaevich - Doctor of Biological Sciences, Professor of Tomsk State University, Director of the Center for Biota, Climate and Landscape Research BioClimLand. Avenue. Lenin's house. 36. Tomsk, Russia, 634050.

Alexander V. Kislov - Doctor of Geographical Sciences, Full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor, Head of the Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University.
The main building of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory str., 1, Sector A, 20th floor, Moscow, Russia, 119234.

Mikhalenko Vladimir Nikolaevich - Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (IG RAS).
29 Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017.

Rogov Viktor Vasilyevich - Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University. The main building of Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory str., 1, sector A, 19th floor, Moscow, Russia, 119234.

Frolova Natalia Leonidovna - Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.

The main building of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory str., 1, sector A, 17th floor, Moscow, Russia, 119234.

Khimenkov Alexander Nikolaevich - Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher.
E.M. Sergeev Institute of Geoecology of the Russian Academy of Sciences (IGE RAS). Ulansky lane, building 13, building 2, a/z 145. Moscow, Russia, 101000.

Yulia Nikolaevna Chizhova - Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS),
Moscow, 17 Staromonetny pereulok str., 109017

Alekseev Sergey Vladimirovich - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Hydrogeology, 664033, Russia, Irkutsk region, Irkutsk, 128 Lermontov str., office 318, salex@crust.irk.ru

Galkin Alexander Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, Institute of Permafrost named after P.I. Melnikov SB RAS, Chief Researcher, 677010, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Kulakovskiy str., 4-1, afgalkin@yandex.ru

Lugovskoy Alexander Mikhailovich - Doctor of Geographical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State University of Geodesy and Cartography" (MIIGAiK), Professor of the Department of Geography, Faculty of Cartography and Geoinformatics, 1090548, Russia, Moscow region, Moscow, Shosseynaya str., 13, office 49, alug1961@yandex.ru

Yakovenko Natalia Vladimirovna - Doctor of Geographical Sciences, G.F. Morozov VGLTU,

Director of ITLK Research Institute, 394068, Russia, Voronezh Region, Voronezh, blvd. Olympic, 6, sq. 334, n.v.yakovenko71@gmail.com

Требования к статьям

Журнал является научным. Направляемые в издательство статьи должны соответствовать тематике журнала (с его рубрикатором можно ознакомиться на сайте издательства), а также требованиям, предъявляемым к научным публикациям.

Рекомендуемый объем от 12000 знаков.

Структура статьи должна соответствовать жанру научно-исследовательской работы. В ее содержании должны обязательно присутствовать и иметь четкие смысловые разграничения такие разделы, как: предмет исследования, методы исследования, апелляция к оппонентам, выводы и научная новизна.

Не приветствуется, когда исследователь, трактуя в статье те или иные научные термины, вступает в заочную дискуссию с авторами учебников, учебных пособий или словарей, которые в узких рамках подобных изданий не могут широко излагать свое научное воззрение и заранее оказываются в проигрышном положении. Будет лучше, если для научной полемики Вы обратитесь к текстам монографий или диссертационных работ оппонентов.

Не превращайте научную статью в публицистическую: не наполняйте ее цитатами из газет и популярных журналов, ссылками на высказывания по телевидению.

Ссылки на научные источники из Интернета допустимы и должны быть соответствующим образом оформлены.

Редакция отвергает материалы, напоминающие реферат. Автору нужно не только продемонстрировать хорошее знание обсуждаемого вопроса, работ ученых, исследовавших его прежде, но и привнести своей публикацией определенную научную новизну.

Не принимаются к публикации избранные части из диссертаций, книг, монографий, поскольку стиль изложения подобных материалов не соответствует журнальному жанру, а также не принимаются материалы, публиковавшиеся ранее в других изданиях.

В случае отправки статьи одновременно в разные издания автор обязан известить об этом редакцию. Если он не сделал этого заблаговременно, рискует репутацией: в дальнейшем его материалы не будут приниматься к рассмотрению.

Уличенные в плагиате попадают в «черный список» издательства и не могут рассчитывать на публикацию. Информация о подобных фактах передается в другие издательства, в ВАК и по месту работы, учебы автора.

Статьи представляются в электронном виде только через сайт издательства <http://www.enotabene.ru> кнопка "Авторская зона".

Статьи без полной информации об авторе (соавторах) не принимаются к рассмотрению, поэтому автор при регистрации в авторской зоне должен ввести полную и корректную информацию о себе, а при добавлении статьи - о всех своих соавторах.

Не набирайте название статьи прописными (заглавными) буквами, например: «ИСТОРИЯ КУЛЬТУРЫ...» — неправильно, «История культуры...» — правильно.

При добавлении статьи необходимо прикрепить библиографию (минимум 10–15 источников, чем больше, тем лучше).

При добавлении списка использованной литературы, пожалуйста, придерживайтесь следующих стандартов:

- [ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.](#)
- [ГОСТ 7.0.5-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления](#)

В каждой ссылке должен быть указан только один диапазон страниц. В теле статьи ссылка на источник из списка литературы должна быть указана в квадратных скобках, например, [1]. Может быть указана ссылка на источник со страницей, например, [1, с. 57], на группу источников, например, [1, 3], [5-7]. Если идет ссылка на один и тот же источник, то в теле статьи нумерация ссылок должна выглядеть так: [1, с. 35]; [2]; [3]; [1, с. 75-78]; [4]....

А в библиографии они должны отображаться так:

[1]
[2]
[3]
[4]....

Постраничные ссылки и сноски запрещены. Если вы используете сноски, не содержащую ссылку на источник, например, разъяснение термина, включите сноски в текст статьи.

После процедуры регистрации необходимо прикрепить аннотацию на русском языке, которая должна состоять из трех разделов: Предмет исследования; Метод, методология исследования; Новизна исследования, выводы.

Прикрепить 10 ключевых слов.

Прикрепить саму статью.

Требования к оформлению текста:

- Кавычки даются углками (« ») и только кавычки в кавычках — лапками (“ ”).
- Тире между датами дается короткое (Ctrl и минус) и без отбивок.
- Тире во всех остальных случаях дается длинное (Ctrl, Alt и минус).
- Даты в скобках даются без г.: (1932–1933).
- Даты в тексте даются так: 1920 г., 1920-е гг., 1540–1550-е гг.
- Недопустимо: 60-е гг., двадцатые годы двадцатого столетия, двадцатые годы XX столетия, 20-е годы XX столетия.
- Века, король такой-то и т.п. даются римскими цифрами: XIX в., Генрих IV.
- Инициалы и сокращения даются с пробелом: т. е., т. д., М. Н. Иванов. Неправильно: М.Н. Иванов, М.Н. Иванов.

ВСЕ СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ.

По вопросам публикации и финансовым вопросам обращайтесь к администратору Зубковой Светлане Вадимовне
E-mail: info@nbpublish.com
или по телефону +7 (966) 020-34-36

Подробные требования к написанию аннотаций:

Аннотация в периодическом издании является источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований.

Аннотация выполняет следующие функции: дает возможность установить основное

содержание документа, определить его релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту документа; используется в информационных, в том числе автоматизированных, системах для поиска документов и информации.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- оригинальной;
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);

Аннотация включает следующие аспекты содержания статьи:

- предмет, цель работы;
- метод или методологию проведения работы;
- результаты работы;
- область применения результатов; новизна;
- выводы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «в статье рассматривается...»).

Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся.

В тексте аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Гонорары за статьи в научных журналах не начисляются.

Цитирование или воспроизведение текста, созданного ChatGPT, в вашей статье

Если вы использовали ChatGPT или другие инструменты искусственного интеллекта в своем исследовании, опишите, как вы использовали этот инструмент, в разделе «Метод» или в аналогичном разделе вашей статьи. Для обзоров литературы или других видов эссе, ответов или рефератов вы можете описать, как вы использовали этот инструмент, во введении. В своем тексте предоставьте prompt - командный вопрос, который вы использовали, а затем любую часть соответствующего текста, который был создан в ответ.

К сожалению, результаты «чата» ChatGPT не могут быть получены другими читателями, и хотя невосстановимые данные или цитаты в статьях APA Style обычно цитируются как личные сообщения, текст, сгенерированный ChatGPT, не является сообщением от человека.

Таким образом, цитирование текста ChatGPT из сеанса чата больше похоже на совместное использование результатов алгоритма; таким образом, сделайте ссылку на автора алгоритма записи в списке литературы и приведите соответствующую цитату в тексте.

Пример:

На вопрос «Является ли деление правого полушария левого полушария реальным или метафорой?» текст, сгенерированный ChatGPT, показал, что, хотя два полушария мозга в некоторой степени специализированы, «обозначение, что люди могут быть охарактеризованы как «левополушарные» или «правополушарные», считается чрезмерным упрощением и популярным мифом» (OpenAI, 2023).

Ссылка в списке литературы

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat>

Вы также можете поместить полный текст длинных ответов от ChatGPT в приложение к своей статье или в дополнительные онлайн-материалы, чтобы читатели имели доступ к точному тексту, который был сгенерирован. Особенno важно задокументировать созданный текст, потому что ChatGPT будет генерировать уникальный ответ в каждом сеансе чата, даже если будет предоставлен один и тот же командный вопрос. Если вы создаете приложения или дополнительные материалы, помните, что каждое из них должно быть упомянуто по крайней мере один раз в тексте вашей статьи в стиле APA.

Пример:

При получении дополнительной подсказки «Какое представление является более точным?» в тексте, сгенерированном ChatGPT, указано, что «разные области мозга работают вместе, чтобы поддерживать различные когнитивные процессы» и «функциональная специализация разных областей может меняться в зависимости от опыта и факторов окружающей среды» (OpenAI, 2023; см. Приложение А для полной расшифровки). .

Ссылка в списке литературы

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat> Создание ссылки на ChatGPT или другие модели и программное обеспечение ИИ

Приведенные выше цитаты и ссылки в тексте адаптированы из шаблона ссылок на программное обеспечение в разделе 10.10 Руководства по публикациям (Американская психологическая ассоциация, 2020 г., глава 10). Хотя здесь мы фокусируемся на ChatGPT, поскольку эти рекомендации основаны на шаблоне программного обеспечения, их можно адаптировать для учета использования других больших языковых моделей (например, Bard), алгоритмов и аналогичного программного обеспечения.

Ссылки и цитаты в тексте для ChatGPT форматируются следующим образом:

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat>

Цитата в скобках: (OpenAI, 2023)

Описательная цитата: OpenAI (2023)

Давайте разберем эту ссылку и посмотрим на четыре элемента (автор, дата, название и

источник):

Автор: Автор модели OpenAI.

Дата: Дата — это год версии, которую вы использовали. Следуя шаблону из Раздела 10.10, вам нужно указать только год, а не точную дату. Номер версии предоставляет конкретную информацию о дате, которая может понадобиться читателю.

Заголовок. Название модели — «ChatGPT», поэтому оно служит заголовком и выделено курсивом в ссылке, как показано в шаблоне. Хотя OpenAI маркирует уникальные итерации (например, ChatGPT-3, ChatGPT-4), они используют «ChatGPT» в качестве общего названия модели, а обновления обозначаются номерами версий.

Номер версии указан после названия в круглых скобках. Формат номера версии в справочниках ChatGPT включает дату, поскольку именно так OpenAI маркирует версии. Различные большие языковые модели или программное обеспечение могут использовать различную нумерацию версий; используйте номер версии в формате, предоставленном автором или издателем, который может представлять собой систему нумерации (например, Версия 2.0) или другие методы.

Текст в квадратных скобках используется в ссылках для дополнительных описаний, когда они необходимы, чтобы помочь читателю понять, что цитируется. Ссылки на ряд общих источников, таких как журнальные статьи и книги, не включают описания в квадратных скобках, но часто включают в себя вещи, не входящие в типичную рецензируемую систему. В случае ссылки на ChatGPT укажите дескриптор «Большая языковая модель» в квадратных скобках. OpenAI описывает ChatGPT-4 как «большую мультимодальную модель», поэтому вместо этого может быть предоставлено это описание, если вы используете ChatGPT-4. Для более поздних версий и программного обеспечения или моделей других компаний могут потребоваться другие описания в зависимости от того, как издатели описывают модель. Цель текста в квадратных скобках — кратко описать тип модели вашему читателю.

Источник: если имя издателя и имя автора совпадают, не повторяйте имя издателя в исходном элементе ссылки и переходите непосредственно к URL-адресу. Это относится к ChatGPT. URL-адрес ChatGPT: <https://chat.openai.com/chat>. Для других моделей или продуктов, для которых вы можете создать ссылку, используйте URL-адрес, который ведет как можно более напрямую к источнику (т. е. к странице, на которой вы можете получить доступ к модели, а не к домашней странице издателя).

Другие вопросы о цитировании ChatGPT

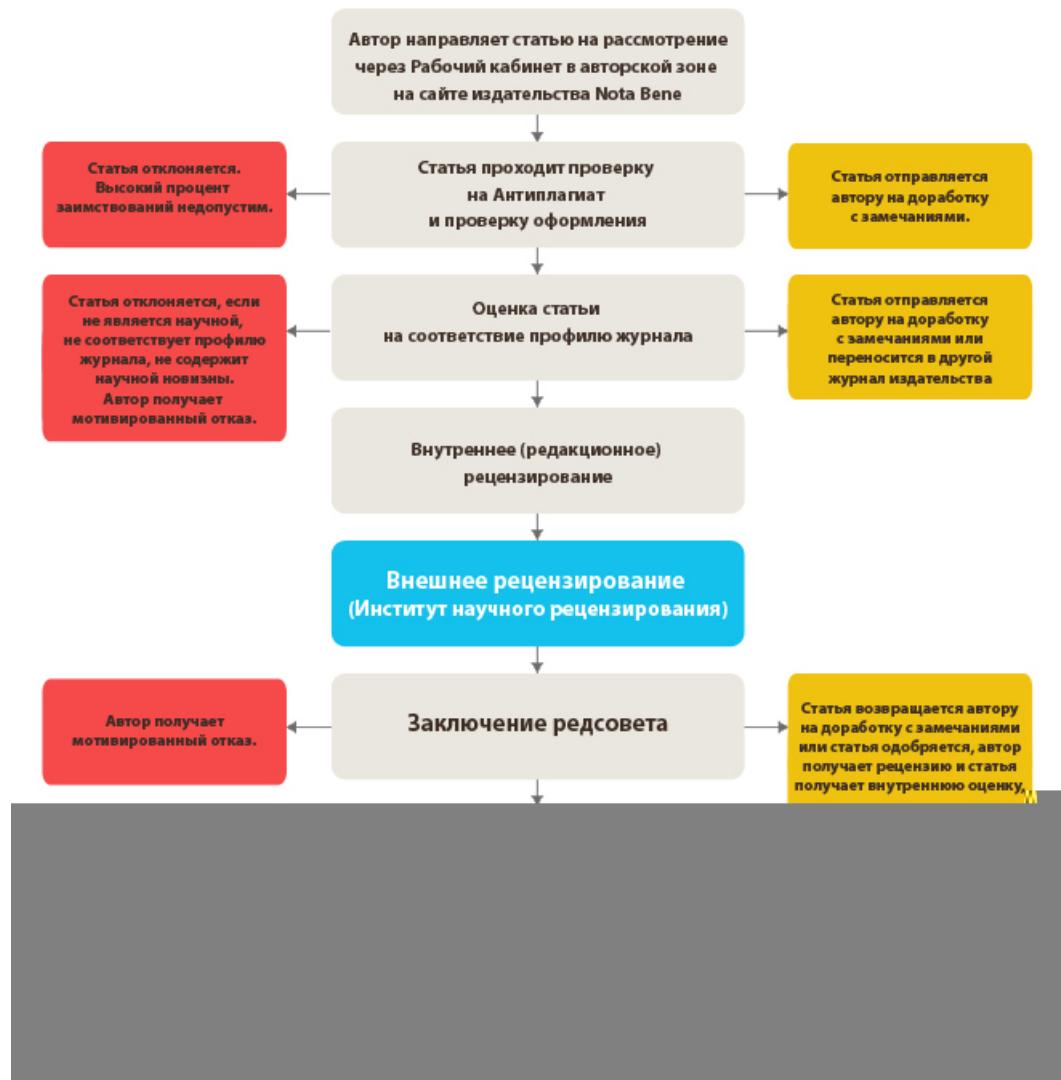
Вы могли заметить, с какой уверенностью ChatGPT описал идеи латерализации мозга и то, как работает мозг, не ссылаясь ни на какие источники. Я попросил список источников, подтверждающих эти утверждения, и ChatGPT предоставил пять ссылок, четыре из которых мне удалось найти в Интернете. Пятая, похоже, не настоящая статья; идентификатор цифрового объекта, указанный для этой ссылки, принадлежит другой статье, и мне не удалось найти ни одной статьи с указанием авторов, даты, названия и сведений об источнике, предоставленных ChatGPT. Авторам, использующим ChatGPT или аналогичные инструменты искусственного интеллекта для исследований, следует подумать о том, чтобы сделать эту проверку первоисточников стандартным процессом. Если источники являются реальными, точными и актуальными, может быть лучше прочитать эти первоисточники, чтобы извлечь уроки из этого исследования, и перефразировать или процитировать эти статьи, если применимо, чем использовать их интерпретацию модели.

Материалы журналов включены:

- в систему Российского индекса научного цитирования;
- отображаются в крупнейшей международной базе данных периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory, что гарантирует значительное увеличение цитируемости;
- Всем статьям присваивается уникальный идентификационный номер Международного регистрационного агентства DOI Registration Agency. Мы формируем и присваиваем всем статьям и книгам, в печатном, либо электронном виде, оригинальный цифровой код. Префикс и суффикс, будучи прописанными вместе, образуют определяемый, цитируемый и индексируемый в поисковых системах, цифровой идентификатор объекта — digital object identifier (DOI).

[Отправить статью в редакцию](#)

Этапы рассмотрения научной статьи в издательстве NOTA BENE.



Содержание

Антонов Е.П. К вопросу о происхождении субэтнической группы русских арктических старожилов Якутии	1
Васильчук Ю.К. Концентрация основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза	16
Камбалин И.О., Кошурников А.В., Балихин Е.И. Оптимизация параметров статистического моделирования геофизических полей в условиях криолитозоны	44
Гинзбург А.П., Лупачев А.В. Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена	60
Васильчук А.К., Васильчук Ю.К. Глинистые грунты едомных толщ	82
Лавренко Н.Ю., Романюк О.Л., Рогозина Т.В. Динамика качества и результаты мониторинга содержания нефтепродуктов в воде бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа	92
Англоязычные метаданные	108

Contents

Antonov E.P. On the question of the origin of the subethnic group of Russian Arctic old-timers of Yakutia	1
Vasil'chuk Y.K. Concentration of the main soluble ions in the composite wedges of the Upper Sand unit of the Batagay megaslump	16
Kambalin I.O., Koshurnikov A.V., Balihin E.I. Optimization of Statistical Modeling Parameters for Geophysical Fields in Permafrost Conditions	44
Ginzburg A.P., Lupachev A.V. Geomorphological structure and several physico-chemical properties of soils in Western Spitsbergen maritime cryogenic landscapes	60
Vasil'chuk A.C., Vasil'chuk Y.K. Clays of yedoma suite	82
Lavrenko N.Y., Romanyuk O.L., Rogozina T.V. Dynamics of quality and results of monitoring the content of petroleum products in the rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (Russia)	92
Metadata in english	108

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Антонов Е.П. К вопросу о происхождении субэтнической группы русских арктических старожилов Якутии // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.72620 EDN: CGBEPD URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72620

К вопросу о происхождении субэтнической группы русских арктических старожилов Якутии

Антонов Егор Петрович

ORCID: 0000-0002-5779-6893

кандидат исторических наук

ведущий научный сотрудник; отдел истории; Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера Сибирского отделения РАН

677009, Россия, республика Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Дзержинского, 41/3, кв. 85



✉ Antegor@yandexd.ru

[Статья из рубрики "История освоения Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.72620

EDN:

CGBEPD

Дата направления статьи в редакцию:

08-12-2024

Дата публикации:

13-01-2025

Аннотация: В статье впервые выделены три этапа в историографии по теме заселения русскими Арктической части Якутии: дореволюционный, советский и постсоветский. В первый из них доминировала идея о переселении русских Северным морским путем из Поморья на Индигирку. Второй этап характеризуется находками останков торгово-промышленной экспедиции XVII в. на Таймыре, что доказало существование древних традиций северного судоходства. В третий период появились свидетельства о ликвидации Русскоустинского архива, труды о миграции русских Северным морским путем стали оцениваться, как «местный патриотический дискурс». Впервые использованные документы из США доказывают сложносоставной характер генезиса русских в Арктике произошел морским и сухопутным путем, а также ассимиляцией с

коренными народами.

Методологической основой исследования стал цивилизационный подход, поскольку генезис русских старожилов Арктики был связан с формированием их этнокультурных особенностей. В дореволюционный период на основе данных фольклора и Русскоустинского архива впервые был выдвинут вопрос о миграции русских морским путем из Поморья в Якутию. В советский период обнаружение останков торгово-промышленной экспедиции XVII в. на Таймыре свидетельствовало о существовании древних традиций судоходства в Восточной Сибири. Генезис исторических сказаний стал рассматриваться как результат тяжб из-за промысловых участков между индигирщиками и якутами. Отмечалось отсутствие архивных документов о плаваниях поморов вдоль Севморпути и говорилось о бегстве предков индигирщиков от эпидемии с юга на север. В постсоветский период маршрут миграции русских Севморпутем стал расцениваться, как не академический, а местно-патриотический дискурс, стремление повысить их социальный статус, превратив из «не вполне русских» в «самых русских». Формирование русских субэтносов произошло за счет миграционных волн Северным морским путем и казаков-землепроходцев XVII в. Определяющее значение в зарождении русских арктических старожилов Якутии сыграли коренные народы. Также впервые вводимые здесь архивные документы в США подкрепляют выводы о многовековом опыте поморских мореходов. Совокупность устных преданий, данных археологов и архивные материалы подтверждают догадку о многосоставном характере происхождения русских арктических старожилов Якутии.

Ключевые слова:

происхождение, русские арктические старожилы, Русское Устье, Походск, Поморье, Касилов, кочи, коренные фамилии, Иван Грозный, Новгород

1. Введение

Проблема генезиса арктических русских старожилов Якутии вот уже более ста лет является одной из сложных и дискуссионных не только в местной и российской, но и мировой историографии. Накопленные материалы по устному фольклору, археологическим материалам и архивным документам в научной и научно-популярной литературе, изданной в дореволюционный, советский и постсоветский периоды, нуждаются в систематизации и теоретическом обобщении.

Целью настоящей статьи является генезис русских арктических старожилов Якутии в контексте местной, российской и мировой историографии.

Методологической основой исследования является цивилизационный подход, поскольку генезис русских старожилов в Арктике был напрямую связан с формированием и развитием этнокультурных особенностей и сознания субэтносов. Также использован сравнительно-исторический подход, позволяющий выявить общее и особенное в выдвинутой проблеме, а также детально проанализировать локальные материалы по происхождению индигирщиков и походчан в контексте новых документальных источников из США.

2. Генезис русских арктических старожилов: дореволюционная историография

Историография вопроса генезиса субэтнической группы русских арктических старожилов имеет давние традиции. Еще в 1889 г. историк П.Н. Буцинский указывал, что большинство первых насельников Сибири составляли жители поморских городов Вятки,

Каргополя, Устюга Великого, Сольвычегодска, Холмогор и др. В списках служилых, посадских людей и крестьян «чрезвычайно редко» можно было встретить «калужанина», «путивльца», «рыленина». Из 617 принесших присягу в Верхотурье царю Алексею Михайловичу, пятьдесят процентов составляли устюжане, сольвычегодцы, вятчане, соликамцы и др. В Западной Сибири они встретились со знакомыми народами: татарами, вогулами, остыками, языки, верования, нравы и обычаи которых им были хорошо известны еще в Европейской части России [\[4, с. 219, 305\]](#).

Участник Ленско-Колымской экспедиции под руководством К.А. Воллосовича астроном Е.Ф. Скворцов с 15 мая по 7 июня 1909 г. в Русском Устье вел свой дневник. Он отметил, что о генезисе индигирских русских от них самих «трудно было что-либо разузнать». Он предполагал, что время их прибытия «относится к глубокой старине» и связано с морским путем из Архангельска, если сослаться на фольклор. Его поразило сходство некоторых фамилий русских старожилов с фамилиями древних бояр и деление их на коренные (корневые) и не коренные. Исследователь считал их потомками сосланных на север бояр, «перебравшихся на кочах по Ледовитому океану на далекую Индигирку» [\[12, с. 72\]](#).

В 1914 г. политссыльный В.М. Зензинов на основе народных преданий, песен, особенностей языка, обычаев отметил, что: «Спасаясь от тягостей ратной службы, жители разных городов еще при Иване Грозном на ботах и кочах вышли из России морем и двинулись на восток, где и осели в устье реки Индигирки среди инородцев, назвав свой первый поселок «Русским Устьем». При этом автор указывает, что в 1640-е гг. «на них наткнулись русские казаки, двинувшиеся из Якутска к Колыме в поисках за новой «землицей» и ясаком» [\[8, с. 16-17\]](#).

Особенно ценным являются его ссылки на существовавшие тогда документы Русско-Устинского архива. В них речь шла о споре между якутами и русскими старожилами по поводу рыболовных участков в низовьях р. Индигирки и охотничьих угодьях. В своей жалобе в Иркутск от 10 апреля 1831 г. русскоустинцы писали: «предки наши, деды и отцы, имели жительство по р. Индигирке, на местах Уяндине, Ожогине, Шанском и Русском Устье, но с какого позволения вовсе нам неизвестно; впоследствии времени, опытностью, от старших дознано нами токмо то, что река сия первоначально найдена какими-то русскими кочами, потом предки наши имели постоянное жительство при Шанском посте...». В другом документе от 15 марта 1832 г. было записано, что «постоянное жительство наше с предков, как опытностью от старших известно, более 150 лет», т.е. до 1682 г. [\[8, с. 23\]](#).

Интересным представляется также описание автором со слов информантов расселения русских старожилов – с севера на юг по маршруту: Едомка – Русское Устье – Елонь – Ожогино [\[8, с. 25\]](#). Донесение Постника Иванова о промысле соболя и добыче серебра на верхнем и среднем течении р. Индигирки, он объяснил тем, что казаки «не спускались вниз» в низовья этой реки. Однако В.М. Зензинов допускал, что «рускоустинцы появились позднее» [\[8, с. 26-27\]](#).

3. Генезис русских арктических старожилов: историография советского периода

В 1949 г. была опубликована статья С. Маркова на основе документов, найденных из архивного «фонда Селифонтова» в г. Кострома. Морской офицер, сибирский генерал-губернатор, сенатор И.О. Селифонтов (1793–1822 гг.) вывез из Сибири много документов, хранившихся в семейном архиве Селифонтовых. Вероятно, что Иван

Осипович был знаком с сибирским землемером и губернским регистратором Иваном Кожевиным и получил от него в 1806 г. тетрадь в четверть листа, укraшенную выполненными от руки цветными рисунками, изображающими сцены из жизни якутов – рукопись «Практическое географическое описание в Жиганском уезде». Данное «описание» было составлено Иваном Кожевиным в 1804 г. на основе записей его отца, землемера Ефима Кожевина в 1795–1799 гг.

В работе на страницах 30–31 имелась так называемая «Смесь о кочах». Во время своего пребывания в 1795–1799 гг. в Жиганском уезде Ефиму Кожевину местные жители рассказали предание, передаваемое из поколения в поколение русскими поселенцами, о плавании трех «великих кочей» вниз по р. Лене в море еще до основания г. Якутска (1632) и Жиганска (1633). Один из этих кораблей дошел до р. Индигирки, поднялся вверх по реке, где его разбило и выкинуло на скалы вблизи с. Шанское, расположеннное южнее Русского Устья. По народной молве, основание большого коча из толстого корабельного леса пролежало в течение длительного периода. Второй коч прошел устья Колымы и Анадыря, достиг оконечности Камчатки и вошел в Гижигинскую губу еще до основания Гижигинского острога (1651). Третий же был отнесен к берегам Аляски. Кожевин добавил сказание чукчей и коряков, как их предки наблюдали русских людей, обогнувших Чукотский нос. В рукописи упоминаются отшельник Герман, сотник Иван Кобелев и ветеринарный прапорщик Яков Линденгау, свидетельствовавших о русских людях, побывавших на Чукотке, Камчатке и Аляске до плавания Семена Дежнева [\[9, с. 13, 15, 16\]](#).

В 1949 г. на основе материалов языка и фольклора Т.А. Шуб пришел к выводу о происхождении «досельных» русских старожилов нижней Индигирки из Русского Севера – Поморья и датировал приблизительное время их прибытия в Якутию «не позднее первой четверти XVII в.» [\[17, с. 315\]](#). Точное время их прибытия не было установлено, ввиду утраты архивных документов в Зашиверске и при пожаре Якутской воеводской канцелярии. Поэтому письменное упоминание Русского Устья начинается только с 1739 г., хотя автор был уверен, что «досельные» прибыли «гораздо раньше», чем казаки с рек Лены и Яны. Аргументом в пользу этого довода ему послужили предания из одного поколения в другое о том, что предки индигирщиков из Поморья «прышли мором на кочах» при Иване Грозном, спасаясь от «одушья». Были все они дворянских фамилий, а когда встал вопрос о платеже податей, «то в мещане их и записали». В находках луков, стрел, колчанов, копий и др. – повседневных орудиях русскоустинцев, обнаруженных у восточных берегов Таймыра в заливе Симса, Т.А. Шуб убедился, что «русские в XVII веке уже знали путь в Сибирь с запада на восток» [\[18, с. 208\]](#).

М.И. Белов писал, что штурманами в плавании Семена Дежнева, как по всей Сибири, были выходцы из Русского Поморья, отлично знавшие мореходное дело и привычные к морской службе. Запрет на плавание в Мангазею оставил без промысла часть русских поморов, однако они в связи с выходом в море были очень востребованы. От первого появления русского судна на Северо-Востоке России и до конца XVII в., т.е. в течение полувека было совершено 177 крупных морских экспедиций между Леной, Колымой и Анадырем по маршруту протяженностью шесть тысяч километров, что составляло полпути из Европы в Америку.

М.И. Белов отмечал, что еще во второй половине XIX – начале XX вв. известный историк Сибири П.А. Словцов, архивист Н.Н. Оглоблин, американский исследователь Ф.Р. Голдер и др. отрицали саму возможность плавания русских казаков на кочах С.И. Дежнева Северным морским путем и открытие им пролива, отделяющего Америку от Азии.

Одновременно М.И. Белов отверг легенду, что кочи из этого дежневского похода Федота Алексеева занесло к берегу Камчатки, где русские некоторое время жили среди мирных племен камчадалов, а через год перешли за мыс Лопатку и совершили путешествие в Пенжинскую губу, где во время схватки с коряками все погибли. Эти записи, появившиеся в начале XVIII в., спустя полстолетия вызывали у него «большие сомнения в своей правдивости». Также он считал лишенными оснований версии, что «суда Федота Алексеева пристали к берегам Аляски и таким образом положили основание русским поселениям в Америке»[\[1, с. 69, 72\]](#).

В 1957 г. А.П. Окладников описал итоги работ отряда Гидрографического управления Главсевморпути в составе топографа Н.И. Линника, гидрографа А.С. Касьяненко и других 14 и 26 сентября 1940 г. на острове Фаддея. Ими были обнаружены различные предметы хозяйственного и военного назначения (топор, пищаль с пулями, лук, стрелы, колчаны, ножницы, котлы, сковородки, весы, оловянные тарелки, веревки). Среди предметов имелись: колокольчик, гребенка, бусины, монеты, серьги, перстни, нательные кресты, иконки, шахматы и т.д. В июне 1944 г. на берегу залива Симса участники Восточно-Таймырской экспедиции Гидрографического управления во главе с геодезистом С.И. Нестеренко нашли остатки зимовья, деревянных судов и много вещей. На побережье Таймыра были обнаружены подлинные образцы древней национальной одежды и обуви, которую носили простые русские люди, обрывки сарафана, сгнившие меха и кусок выделанной оленьей шкуры. Впоследствии Б.О. Долгих и А.П. Окладников детально изучили и датировали найденные останки торгово-промышленной экспедиции 1620 г.

Мореходы-промысловики имели первоклассное по тому времени огнестрельное оружие и были снаряжены и подготовлены к промыслам. Это были промышленные люди, приехавшие из России для выгодной торговли и охоты на ценных пушных зверей. Такие походы имели массовый характер. Так, в 1630 г. В Туруханско зимовье прибыло с промыслов 608 чел., в 1634 г. – 674, в 1636 г. – 707 и т.д. Эти многочисленные торгово-промышленные экспедиции требовали основательной подготовки и значительной материальной базы. Важным обстоятельством было то, что найденные предметы принадлежали морской экспедиции, когда путешественники продвигались морем, а не сушей. Устройство и оснащение коча рассчитывалось на прохождение судном огромных расстояний за короткую арктическую навигацию. В строительство кочей поморы вкладывали весь свой многовековой опыт северного мореплавания, свою недюжинную наблюдательность и знание северных морей[\[10, с. 6-8, 16, 32, 39-41, 48\]](#).

В 1976 г. А.П. Окладников и Р.С. Васильевский во время своих археологических раскопок в США писали со ссылкой на газету «Anchorage Daily Times» о русской деревне в лесной глуши полуострова Кенай, находившейся в 200 милях к юго-западу от Анкориджа на Аляске. В поселении проживало 300 чел., занимавшихся рыбной ловлей и по контракту работавших на местной лесопилке. Они свято чтили православную религию XVI в. до раскола церкви, поощряли ранние браки между своими и носили старинную русскую одежду. Их дети играли в русские игры и говорили на родном языке. Сохранились русские поселения и на острове Кадьяк, где А.П. Окладников и его археологи слушали русские народные песни и рассказы поселенцев. На Алеутских островах местные жители носили имена и фамилии: Сергей Суворов, Даниил Крюков, Иван Плотников, Пелагея Дьякова, Аграфена Душкина и др. В их языке около 30% составляли слова русского происхождения: хлеб – клибах, чайник – чаниках, шахматы – шахох, ножик – нусах и др., а в быту сохранились русские утварь и обычаи[\[11, с. 54-55\]](#).

И.С. Гурвич объяснил возникновение легенды о заселении предками русскоустинцев низовьев Индигирки жалобой якутов в Комиссию по переобложению инородцев ясаком в 1831 г., где утверждалось о захвате русскими переселенцами из упраздненного г. Зашиверска рыболовных и охотничих угодий около Северного Ледовитого океана. Поэтому авторы предложили выселить всех русских с долины р. Индигирки, и эта идея нашла поддержку Иркутска. В ответ верхоянские мещане начали свою длительную переписку с начальством, доказывая, что их предки переселились 150 лет тому назад, т.е. в 1682 г. С этого спора, по мнению этнографа, зародился миф «о поселении предков русско-устинцев на Севере с незапамятных времен». Аналогичное предание имелось у походчан, именовавших себя потомками сподвижника Ермака – Ивана Кольца и у устьянцев, ведущих свое родословие от ленского крестьянина, высадившегося с корабля под парусом у Святого носа. По мнению И.С. Гурвича, в смутных легендах индигирщиков, колымчан и устьянцев отразились реальные события XVII–XVIII вв., связанные с переселением по суше и морем русских промысловиков и пашенных крестьян, а также рассказы сосланных поселенцев, заимствованные из литературы и фольклора эпохи Ивана Грозного, Ермака и атамана Кольцо [\[7, с. 193–194\]](#).

В 1972 г. в своей монографии А.Л. Биркенгоф отмечал, что предводитель отряда казаков-землепроходцев Иван Ребров просил в 1633 г. «идти морем на Яну». В 1649 г. он сообщал в челобитной, что с Яны отправился морем на Индигирку, настаивая при этом, «что и на Яне, и на Индигирке до него русские еще не побывали». Отсюда он пришел к заключению, что предания рускоустинцев об обнаружении реки Индигирки «какими-то русскими кочами» совпадает «с челобитной Ивана Реброва, и не более того». Однако автор подчеркнул, что Иван Ребров «не оставил» в низовьях р. Индигирка казачьего гарнизона – потомками которых могли стать рускоустинцы. Так он попытался опровергнуть широко распространенное предание старожилов Русского Устья, которое не являлось «доказательством проникновения предков индигирщиков на «матушку-Индигирку» морским путем «прямо из России» [\[3, с. 82–83\]](#).

А.Л. Биркенгоф отметил, что участники походов Ивана Ерастова, Д.М. Зыряна (Ерило), И.Беляны, М. Стадухина, С. Дежнева, Т. Булдакова, П. Мокрошубов не встретили и не слышали, что в низовьях Индигирки «существовали неведомые русские заимки или селения предков индигирщиков». Изучение этих донесений позволило автору «с уверенностью» утверждать, что «постоянные русские жители отсутствовали в тундре дельты Индигирки и в низовьях реки, и в 1650–1651 гг.», а сами рускоустинцы были «потомками первых засельщиков бассейна – открывателей «Юкагирской земли» «сухопутем» и морским путем».

Также А.Л. Биркенгоф опровергал предание будто рускоустинцы были потомками сосланных бояр, «перебравшихся на кочах по Ледовитому океану», поскольку их фамилии были поразительно схожими с «древнебоярскими». Почти все из 15 «корневых» фамилий индигирщиков: Антоновых, Голыжинских, Киселевых, Корякиных, Пантелеевых, Рожиных, Суздаловых, Струковых, Черемкиных, Чихачевых, Хабаровых, Шелоховских, Шкулевых, Щелкановых, Ярковых встречались в архивных документах XVII в. Лишь о четырех «досельных» фамилиях – Шелоховских, Шкулевых, Щелкановых, Ярковых «что-либо определенное сказать трудно» [\[3, с. 86\]](#). Интерес А.Л. Биркенгофа вызвала фамилия выходцев из Анадыря Кисилевых, послуживших основой сказания о прибытии предков рускоустинцев с Чукотки. С фамилией Кисилевых автор связал версию об исчезновении Новгородской колонии в селении Казилова у устья реки Казиловой, или реки Кисилева в районе Кенайского залива на Аляске [\[3, с. 91\]](#).

Продвижение русских из Зашиверска в низовья р. Ингигирки А.Л. Биркенгоф объяснял бегством от эпидемии оспы и падением промысла на зверей. Никакой информации о них не прозвучало и от юкагиров, «с которыми воевали и общались русские землепроходцы»[\[3, с. 83-84\]](#). Что касается заселения бассейна р. Индигирка, то в отличие от В.М. Зензинова, он связывал продвижение русских на север с необходимостью поддержки ездового собаководства, для которого требовался захват «все новых и новых рыболовных «песков», где рыбные ресурсы увеличивались»[\[3, с. 17-19\]](#). Основание Русского Устья он относил к 1739 г., Едомки – к 1756 г., Усть Елони – к 1761 г. и Станчика – к 1821 г. Он выявил основные направления заселения: с юга Усть Елони и Русского Устья по западной Русскоустинской протоке, и с востока Едомки и Станчика в низовья восточной Колымской протоки[\[3, с. 94\]](#).

В отношении же древнего русского поселения на Аляске А.Л. Биркенгоф отметил, что оно было основано не в XVI, а в XVII в. и являлось не колонией Новгорода, а по его предположению, поселением участников плавания Семена Дежнева в 1648 г. – первооткрывателей Северо-Запада Америки и потомков выходцев из Новгорода[\[2, с. 307\]](#).

А.Г. Чикачев также признавал отсутствие «существенных доказательств» тому, что «предки русскоустинцев достигли устья р. Индигирки морским путем «прямо из России», поскольку русские казаки-землепроходцы, прибывшие в низовья Индигирки морем и сушей не упоминали о Русском Устье. Поэтому заселение этой территории русскими он датировал 1682 г. в основном по маршруту с юга на север и причислил индигирщиков к потомкам русских землепроходцев и мореходов XVII в., продвигавшихся с г. Зашиверска»[\[13, с. 365-368\]](#). Позже А.Г. Чикачев удручил заселение Индигирки русскими людьми серединой XVII в.[\[14, с. 28\]](#)

3. Генезис русских арктических старожилов: постсоветская историография

Однако в дальнейшем А.Г. Чикачев, участвовавший в подготовке к изданию книги А.Л. Биркенгофа «Потомки землепроходцев», подчеркнул, что в ней не опровергалась версия смешанного генезиса русскоустинцев от переселенцев из Великого Новгорода (досельных), потомков казаков и промысловых людей, ссыльных и крестьян. В заключении А.Г. Чикачев констатировал, что: «Поэтому мы все же склоняемся к мысли, что не может быть строго единой версии заселения Русского Устья только каким-либо одним путем»[\[15, с. 318\]](#).

А.Г. Чикачев привел интересные сведения о гибели архивов в Русском Устье и на Колыме, где берестяные документы XVII в. были использованы для растопки печей. Также приводился пример, когда по поступившему из Якутска распоряжению (не указана дата этого документа и под чьей подписью он вышел) об уничтожении Русско-Устинского архива. Тогда по решению местной власти (не указана дата этого документа и под чьей подписью он вышел) архивные документы были собраны и утоплены в проруби (в тексте не указано, в какой конкретно местности это произошло). Однако через месяц из столицы республики поступило новое распоряжение о подъеме со дна водоема этого архива. Рускоустинцы вырубили прорубь большого диаметра, выморозили дно водоема, сумели поднять мокрые и смерзшиеся бумаги и разложили их сушиться на крышу юрты. Но дожди и ветры окончательно уничтожили весь архив[\[15, с. 54\]](#).

В 2004 г. Н.Б. Вахтин, Е.В. Головко и П. Швайцер объяснили появление версии В.М. Зензинова о прибытии предков рускоустинцев в низовья р. Индигирки морем «чуть ли

не со времен Ивана Грозного» попыткой закрепить за собою права на рыболовные участки и охотничьи промысловыегудия, активно оспариваемые с 1831 г. якутами. Это предание, по их мнению, не имело «никакого отношения к реальным историческим событиям» и подвергли необоснованной критике труды А.Г. Чикачева, опубликованные «не столько в рамках академического, сколько местно-патриотического дискурса». Также они обвинили Алексея Гавриловича в замалчивании «невыгодного» предания, согласно которой предки индигирщиков прибыли с Чукотки, что подчеркивало их недостаточно древнее происхождение. Авторы также поставили под сомнение предания походчан и усть-янцев, преподносящих себя в качестве потомков одного из близких соратников Ермака – Ивана Кольца [5, с. 40–41].

Авторы также усомнились в дате основания в 1638 г. Русского Устья Иваном Ребровым, поскольку проезжавшие через эту местность Иван Постник, Иван Ерастов, Андрей Горелый и др. не видели здесь «никаких русских поселений» [5, с. 41].

Н.Б. Вахтин, Е.В. Головко и П. Швайцер перечислили усилия А.Г. Чикачева по архивным изысканиям, использованием «выгодных» цитат из литературы, содействии строительству памятников казакам-землепроходцам (предкам русскоустинцев), реанимации предания о «боярском» происхождении индигирщиков, съемкам документальных фильмов о Русском Устье, издании популярных публикаций, выход статьи Алексея Гавриловича в академическом томе «Фольклор Русского Устья», организации и проведении юбилея 350-летия основания села Русское Устье в 1988 г. Эта активная деятельность была оценена Н.Б. Вахтиным, Е.В. Головко и П. Швайцерем, как стремление А.Г. Чикачева «повысить социальный статус» русскоустинцев, превратив их из «не вполне русских» в «самых русских» из всех [5, с. 99–100].

Сын А.Г. Чикачева – И.А. Чикачев писал об обнаружении уроженцем Абыйского района Якутии, профессором биологии Чикагского университета Владимиром Рязанским архива В.М. Зензинова. 50 ящиков, 6 упаковок и 1 папка с фотографиями содержались в Колумбийском университете г. Нью-Йорка. Часть документов имелась в Амхерст колледже США [16, с. 256].

4. Генезис русских арктических старожилов: новые документы

В 2014 г. нам удалось побывать в командировке в США. В архиве Колумбийского университета в основном хранятся фотоальбомы В.М. Зензинова, а в Библиотеке Конгресса удалось обнаружить и откопировать материалы о прибытии русских на Аляску в XVI в. Среди них имеется копия заметки «Первые русские на Аляске» без подписи, которая была опубликована на странице 5 газеты «Возрождение» в Париже 23 августа 1908 г. Данная публикация была перепечатана с немецкой газеты «Франкфуртер Цайтунг» от 22 августа 1908 г. В ней со ссылкой на американскую газету «Нью-Йорк таймс» говорилось, что настоятель русской православной церкви Николай Иванович Кедров (Кедровский) в ходе разбора накопившихся старых бумаг в подвале храма обнаружил связку старинных бумаг с описанием открытия русскими Аляски.

На основании этих новых источников была установлена новая дата прибытия россиян в Америку в 1546 г., а не в 1741 г., как это было принято в официальной историографии. Беглецы были уроженцами Великого Новгорода и участниками неудавшегося бунта при восшествии на престол Ивана Грозного, бежавшими через Сибирь на Аляску. Флотилия заговорщиков состояла из 7 кораблей, из которых 6 прибыло до американских берегов. Указанный год прибытия в Америку – 1546 г. вызывает сомнения, поскольку Иван

Грозный стал царем только в 1547 г. Переселенцы, среди которых имелось несколько духовных лиц, построили город Анадырь на Аляске с каменной церковью. Прибывшие были ассимилированы индейцами тлинкитами и хайда, а Анадырь был либо разрушен во время боевых действий, либо заброшен жителями [19].

Там же имеется копия статьи Александра Браиловского «Об одной замечательной находке. Русские в Америке при Иване Грозном», опубликованная в газете «Русский голос» с указанием даты прибытия русских на Аляску – 1570 г. Прибытие беглецов в ней связывалось с возникшими подозрениями в «литовской измене» и крамольных сношениях с Литвой и разгромом войсками Ивана Грозного Новгородской республики. Все сторонники крамольной партии с домочадцами и даже холопами были подвергнуты жесточайшим преследованиям, массовым казням, пыткам и разорениям. Однако не все покорно подставили свои шеи под топор, и некоторые отважные и предприимчивые мореходы бежали на 7 кораблях к устью одной из сибирских рек.

Оттуда потомки легендарного русского Синдбада – Садко маршрутом Витуса Беринга добрались до Аляски, где основали город Анадырь, местоположение которого по церковным документам предстояло обнаружить и смешались с туземными племенами. В статье сообщалось о передачи найденных документов, в которых Аляска называлась «восточной Русью», в Библиотеку Конгресса США. Вероятно, что переселенцы считали место своего прибежища от царского гнева географическим продолжением Сибири. Александр Браиловский сравнил данную интерпретацию с ошибкой Христофора Колумба, тоже посчитавшего Америку продолжением Азии [19].

Найдка древних рукописей при разборе православным священником Николаем Ивановичем Кедровым (Кедровский) подвала церкви святого Николая в бывшем административном центре Аляски – г. Ситка вызвала большой интерес среди научной общественности. Старинные бумаги, по предположению китайского происхождения местами так плотно слиплись, что превратились в сплошную массу. Сохранившиеся письмена были прочитаны якутским эмигрантом М.З. Винокуровым, заявившему, что обнаружена неизвестная ранее летопись Аляски, и отославшему эти документы в г. Вашингтон [19].

Однако в ответ на публикацию статьи Александра Браиловского «Об одной замечательной находке. Русские в Америке при Иване Грозном» в «Русском голосе» вышло «Письмо в редакцию» Н.И. Кедрова (Кедровского). Автор написал, что все изложенные в статье факты А. Браиловского хранятся в его библиотеке, а сама публикация является повтором уже опубликованной в «Нью-Йорк таймс» от 3 августа 1930 г. его статьи. В связи с этим православный священник выразил свой протест [19].

Эта заметка вызвала ответную гневную статью «Право на факты» Александра Браиловского, где протест батюшки Николая был оценен, как страсть к мелкому сутяжничеству – явление обычное для российского духовенства. Автор твердо заявил, что не боится желания Н.И. Кедрова (Кедровского) сличать и обличать его тексты. Более того, еженедельник «Русский голос» официально ответил незадачливому православному священнику таким образом: «Журналист, кто бы он ни был, имеет нравственное право, и юридическое, пользоваться любыми цитатами и источниками для своих статей. А. Браиловский не выдумал и не взял из головы факты о пребывании русских в Америке при Иване Грозном, составляя свою статью, сослался на факты, данные Вами». Журналист указал, что отец Николай просто наткнулся на документы во время уборки подвала церкви и готов был предать огню старые бумаги. Самостоятельно же

подвергнуть анализу найденные документы, «блеснуть даром исторической реконструкции» и изложить факты в связной форме перед американцами и соотечественниками он не был в состоянии. Поэтому священник Кедров (Кедровский) оценивался как бесплодная смоковница, поскольку заметка в газете «Нью-Йорк таймс» была написана не им, а Теодором Фарелли^[19].

Не все доверяли этим публичным статьям. Так, в частном письме от 16 сентября 1930 г. протоиерей А. Кашеваров пожаловался якутскому эмигранту, сотруднику Библиотеки Конгресса М.З. Винокурову на совершенно непонятную статью в газете «Нью-Йорк таймс». В ней были смешаны Иван Грозный, гонение за веру, добровольный уход русских крестьян в Сибирь, посещение Аляски русских со священниками и др. При этом автор письма подчеркнул, что найденные бумаги позволят по-новому взглянуть на историю Аляски. Некоторые жители этого штата поверили изложенному в статье, но сам православный священнослужитель оценил публикацию, как вымысел^[19].

5. Заключение

Таким образом, в дореволюционный период В.М. Зензинов на основе устных исторических преданий и архивных документов впервые в историографии выдвинул вопрос о миграции русских морским путем из Поморья в низовья р. Индигирка. В советский период выявленные С.Н. Марковым костромские архивные документы, представляли собой зафиксированные данные фольклора. Подтверждением миграций поморов Северным Ледовитым океаном стало обнаружение останков торгово-промышленной экспедиции XVII в. на острове Фаддей и заливе Симса на Таймыре (А.П. Окладников), что свидетельствовало о существовании древних традиций судоходства не только в Западной, но и в Восточной Сибири.

Т.А. Шуб активно вводил в научный оборот исторический фольклор. М.И. Белов ассоциировал предания о плавании Северным морским путем как сохранившиеся в памяти устные свидетельства коренных жителей и старожилов об экспедициях казаков-землепроходцев XVII в. И.С. Гурвич считал древние исторические сказания результатом тяжб из-за рыболовных и охотничьих участков между индигирщиками и якутами. А.Л. Биркенгоф отметил отсутствие архивных документов о плаваниях поморов вдоль побережья в Восточной Сибири (не упомянув при этом о двух крупных пожарах в Якутском архиве в XIX в.), сомнения в «древнебоярском» происхождении большинства фамилий русскоустинцев и упомянул о бегстве предков индигирщиков от эпидемии в Зашиверске в низовья Индигирки. На основе этих трех данных он отрицал возможность заселения русскими поморами морским путем дельты Индигирки.

Полностью солидаризировавшийся с мнением А.Л. Биркенгофа А.Г. Чикачев в постсоветский период опубликовал интересные воспоминания своих земляков об уничтожении уникального Русскоустинского архива, в котором еще успел поработать политсырьльный В.М. Зензинов. Н.Б. Вахтин, Е.В. Головко и П. Швайцер подвергли острой критике труды А.Г. Чикачева, опубликованные «не столько в рамках академического, сколько местно-патриотического дискурса». Они также поставили под сомнение предания походчан и усть-янцев, преподносящих себя в качестве потомков одного из близких соратников Ермака – Ивана Кольца. Активная деятельность А.Г. Чикачева была оценена ими, как стремление «повысить социальный статус» русскоустинцев, превратив их из «не вполне русских» в «самых русских» из всех.

Сложение субэтносов индигирщиков и походчан произошло за счет миграционных волн из Северо-Запада Северным морским путем и казаков-землепроходцев XVII в.,

добиравшихся сухопутным путем, а также спускавшихся по р. Лене морем до р. Индигирки. Определяющее значение в зарождении русских арктических старожилов Якутии сыграли юкагиры, эвены и якуты, частично ассимилировавшиеся с ними. Длительные дискуссии историков и краеведов вокруг вопроса о генезисе старожильческого населения Арктики, на наш взгляд, и приводимые сторонами различные аргументы только взаимодополняют друг друга. Также впервые вводимые здесь архивные документы и ранее опубликованные результаты археологических раскопок в США подкрепляют данную версию переселения, основанную на многовековом богатом опыте поморских мореходов, активно востребованном в XVII–XVIII вв. Как видим, совокупность устных преданий, данных археологических раскопок и корпус архивных материалов подтверждают догадку А.Г. Чикачева о многосоставном характере происхождения русских арктических старожилов Якутии.

Библиография

1. Белов М.И. Семен Дежнев. – М.: Изд-во Морской транспорт, 1955. 155 с.
2. Биркенгоф А.Л. К вопросу о древней «Новгородской колонии» на Аляске // Известия Всесоюзного Географического общества. 1967. Том 99. Вып. 4. Июль – август. С. 301–307.
3. Биркенгоф А.Л. Потомки землепроходцев. Воспоминания- очерки о русских поречанах низовьев и дельты реки Индигирки. Отв. ред. Ю.Б. Симченко. – М.: Мысль, 1972. 222 с.
4. Буцинский П.Н. Заселение Сибири и быт первых ее наследников. – М.: Вече, 2012. 320 с.
5. Вахтин Н.Б., Головко Е.В., Швайцер П. Русские старожилы Сибири. Социальные и символические аспекты самосознания. – М.: Новое издательство, 2004. 292 с.
6. Визе В.Ю. Моря советской Арктики. Очерки по истории исследования. – М.-Л.: Изд-во Главсевморпути, 1948. 496 с.
7. Гурвич И.С. Этническая история Северо-Востока Сибири. Отв. ред. Б.О. Долгих. – М.: Наука, 1966. 269 с.
8. Зензинов В.М. Старинные люди у холодного океана. Русское Устье Якутской области Верхоянского округа. Изд-2, испр. и доп. репр. изд. – М.: Типография П.П. Рябушинского, 1914 (Якутск, 2013). 140 с.
9. Марков С.Н. Кострома и Тихий океан // Вокруг света. 1949. №8. С. 13–16.
10. Окладников А.П. Русские полярные мореходы XVII века у берегов Таймыра. Изд-е второе, испр. и доп. – М.: Изд-во «Морской транспорт», 1957. 120 с.
11. Окладников А.П., Васильевский Р.С. По Аляске и Алеутским островам. – Новосибирск: Наука, 1976. 168 с.
12. Скворцов Е.Ф. В прибрежных тундрах Якутии. Дневник астронома Ленско-Колымской экспедиции 1909 г. // Труды Комиссии по изучению Якутской АССР. Том XV. Ленско-Колымская экспедиция под начальством К.А. Воллосовича. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. С. 68–84.
13. Чикачев А.Г. К истории русского населения по р. Индигирке // Фольклор Русского Устья. Отв. ред. С.Н. Азбелев, Н.А. Мещерский. Л.: Наука, 1986. С. 363–369.

14. Чикачев А.Г. Русские на Индигирке. Историко-этнографический очерк. Отв. ред. А.И. Федоров. – Новосибирск: Наука, 1990. 189 с.
15. Чикачев А.Г. Русское сердце Арктики. Сост. Е.Н. Аммосова, И.А. Чикачев. Ред. Е.Н. Аммосова. – Якутск: Лит. фонд, 2010. 496 с.
16. Чикачев А.Г. Русские на Индигирке. Историко-этнографический очерк. Распутин В.Г. Русское Устье. Изд-е 2-е, испр. и доп. Ред. и сост. И.А. Чикачев. – Якутск: Изд-во «Литературный фонд им. Владимира Фролова», 2016. 264 с.
17. Шуб Т.А. Старожилое русское население низовьев р. Индигирки // Труды Второго Всесоюзного Географического съезда. Том III. М.: Государственное изд-во географической литературы, 1949. С. 315.
18. Шуб Т.А. Былины русских старожилов низовьев реки Индигирки // Русский фольклор. Материалы и исследования. Вып. I. Редколл.: А.М. Астахова, В.Г. Базанов, М.О. Скрипиль (отв. ред.). М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 207–236.
19. Library of Congress, Collection Michail Z. Vinokourov – Shelf/Accession. – No MSS 18, 147.

References

1. Belov M.I. Semyon Dezhnev. - M.: Sea Transport Publishing House, 1955. 155 p.
2. Birkenhoff A.L. On the Question of the Ancient "Novgorod Colony" in Alaska // Bulletin of the All-Union Geographical Society. 1967. Vol. 99. Issue. 4. July - August. Pp. 301-307.
3. Birkenhoff A.L. Descendants of Explorers. Memoirs and Essays on Russian Porechans of the Lower Reaches and Delta of the Indigirka River. Responsible. ed. Yu.B. Simchenko. - M.: Mysl, 1972. 222 p.
4. Butsinsky P.N. Settlement of Siberia and the Life of Its First Inhabitants. – M.: Veche, 2012. 320 p.
5. Vakhtin N.B., Golovko E.V., Schweitzer P. Russian Old-timers of Siberia. Social and Symbolic Aspects of Self-Awareness. – M.: New Publishing House, 2004. 292 p.
6. Vize V.Yu. Seas of the Soviet Arctic. Essays on the history of research. – M.-L.: Publishing house of Glavsevmorput, 1948. 496 p.
7. Gurvich I.S. Ethnic history of North-East Siberia. Rep. ed. B.O. Dolgikh. – M.: Nauka, 1966. 269 p.
8. Zenzinov V.M. Ancient people by the cold ocean. Russian Ustye, Yakut region, Verkhoyansk district. Izd-2, rev. and additional repr. ed. – M.: Printing house P.P. Ryabushinsky, 1914 (Yakutsk, 2013). 140 pp.
9. Markov S.N. Kostroma and the Pacific Ocean // Around the World. 1949. No. 8. P. 13–16.
10. Okladnikov A.P. Russian polar seafarers of the 17th century off the coast of Taimyr. Second edition, corrected and supplemented. – Moscow: Publishing house "Morskoy transport", 1957. 120 p.
11. Okladnikov A.P., Vasilievsky R.S. Across Alaska and the Aleutian Islands. – Novosibirsk: Nauka, 1976. 168 p. Skvorcov E.F. V pribrezhnyh tundrah Yakutii. Dnevnik astronoma Lensko-

Kolymskoj ekspedicii 1909 g. // Trudy Komissii po izucheniyu Yakutskoj ASSR. Tom XV. Lensko-Kolymskaya ekspediciya pod nachal'stvom K.A. Vollosovicha. L.: Izd-vo AN SSSR, 1930. P. 68-84.

12. Skvortsov E.F. In the coastal tundra of Yakutia. Diary of an astronomer of the Lena-Kolyma expedition of 1909 // Proceedings of the Commission for the Study of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic. Volume XV. Lena-Kolyma expedition under the command of K.A. Vollosovich. L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1930. pp. 68-84.

13. Chikachev A.G. On the history of the Russian population along the river. Indigirka // Folklore of the Russian Ustye. Rep. ed. S.N. Azbelev, N.A. Meshchersky. L.: Nauka, 1986. pp. 363-369.

14. Chikachev A.G. Russians on Indigirka. Historical and ethnographic essay. Rep. ed. A.I. Fedorov. – Novosibirsk: Nauka, 1990. 189 p.

15. Chikachev A.G. Russian heart of the Arctic. Comp. E.N. Ammosova, I.A. Chikachev. Ed. E.N. Ammosova. – Yakutsk: Lit. fund, 2010. 496 p. Shub T.A. Starozhiloe russkoe naselenie nizov'ev r. Indigirki // Trudy Vtorogo Vsesoyuznogo Geograficheskogo s"ezda. Tom III. M.: Gosudarstvennoe izd-vo geograficheskoy literatury, 1949. P. 315.

16. Chikachev A.G. Russians on the Indigirka. Historical and ethnographic essay. Rasputin V.G. Russian Mouth. 2nd edition, corrected and augmented. Ed. and compiled by I.A. Chikachev. - Yakutsk: Publishing house "Literary fund named after Vladimir Frolov", 2016. 264 p.

17. Shub T.A. Old-timer Russian population of the lower reaches of the Indigirka River // Proceedings of the Second All-Union Geographical Congress. Volume III. Moscow: State Publishing House of Geographical Literature, 1949. P. 315.

18. Shub T.A. Epics of Russian old-timers of the lower reaches of the Indigirka River // Russian folklore. Materials and research. Issue I. Editorial board: A.M. Astakhova, V.G. Bazanov, M.O. Skripil (editors). Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1956. Pp. 207-236.

19. Library of Congress, Collection Michail Z. Vinokourov – Shelf/Accession. – No MSS 18, 147.

Библиография

1. Белов М.И. Семен Дежнев / М.И. Белов.-М.: Изд-во "Морской транспорт", 1955.-155 с.
2. Биркенгоф А.Л. К вопросу о древней "Новгородской колонии" на Аляске / А.Л. Биркенгоф // Известия Всесоюзного Географического общества.-1967.-Том 99.-Вып. 4.-Июль-август.-С. 301-307.
3. Биркенгоф А.Л. Потомки землепроходцев. Воспоминания- очерки о русских поречанах низовьев и дельты реки Индигирки. Отв. ред. Ю.Б. Симченко / А.Л. Биркенгоф.-М.: Мысль, 1972.-222 с.
4. Буцинский П.Н. Заселение Сибири и быт первых ее насельников / П.Н. Буцинский.-М.: Вече, 2012.-320 с.
5. Вахтин Н.Б., Головко Е.В., Швайцер П. Русские старожилы Сибири. Социальные и символические аспекты самосознания / Н.Б. Вахтин, Е.В. Головко, П. Швайцер.-М.: Новое издательство, 2004.-292 с.
6. Визе В.Ю. Моря советской Арктики. Очерки по истории исследования / В.Ю. Визе.-

М._Л.: Изд-во Глазсевморпути, 1948.-496 с.

7. Гурвич И.С. Этническая история Северо-Востока Сибири. Отв. ред. Б.О. Долгих / И.С. Гурвич.-М.: Наука, 1966.-269 с.

8. Зензинов В.М. Старинные люди у холодного океана. Русское Устье Верхоянского округа Якутской области . Изд-е 2, испр. и доп. репр. изд. / В.М. Зензинов.-М.: Типография П.П. Рябушинского, 1914 (Якутск, 2013).-140 с.

9. Марков С.Н. Кострома и Тихий океан / С.Н. Марков // Вокруг света.-1949.-№8.-С. 13-16.

10. Окладников А.П. Русские полярные мореходы XVII в. у берегов Таймыра. Изд-е второе, испр. и доп. / А.П. Окладников.-М.: Изд-во "Морской транспорт", 1957.-120 с.

11. Окладников А.П., Васильевский Р.С. По Аляске и Алеутским островам / А.П. Окладников, Р.С. Васильевский.-Новосибирск: Наука, 1976.-168 с.

12. Скворцов Е.Ф. В прибрежных тундрах Якутии. Дневник астронома Ленско-Колымской экспедиции 1909 г. / Е.Ф. Скворцов // Труды Комиссии по изучению Якутской АССР.-Том XV.-Ленско-Колымская экспедиция под начальством К.А. Воллосовича.-Л.: Изд-во АН СССР, 1930.-С. 68-84.

13. Чикачев А.Г. К истории русского населения по р. Индигирке / А.Г. Чикачев // Фольклор Русского Устья. Отв. ред. С.Н. Азбелев, Н.А. Мещерский.-Л.: Наука, 1986.-С. 363-369.

14. Чикачев А.Г. Русские на Индигирке. Историко-этнографический очерк. Отв. ред. А.И. Федоров / А.Г. Чикачев.-Якутск: Лит. фонд, 2010.-496 с.

15. Чикачев А.Г. Русское сердце Арктики. Сост. Е.Н. Аммосова, И.А. Чикачев. Ред. Е.Н. Аммосова / А.Г. Чикачев.-Якутск: Лит. фонд, 2010.-496 с.

16. Чикачев А.Г. Русские на Индигирке. Историко-этнографический очерк. Распутин В.Г. Русское Устье. Изд-е 2-е, испр. и доп. Ред. и сост. И.А. Чикачев / А.Г. Чикачев.-Якутск: Изд-во "Литературный фонд им. Владимира Фролова", 2016.-264 с.

17. Шуб Т.А. Старожилое русское население низовьев р. Индигирки / Т.А. Шуб // Труды Второго Всесоюзного Географического съезда.-Том III.-М.: Государственное изд-во географической лит-ры, 1949.-С. 315. 18.

18. Шуб Т.А. Былины русских старожилов низовьев реки Индигирки / Т.А. Шуб // Русский фольклор. Материалы и исследования.-Вып. 1. Редколл.: А.М. Астахова, В.Г. Базанов, М.О. Скрипиль (отв. ред.).-М.: Изд-во АН СССР, 1956.-С. 207-236.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Статья представляет собой комплексное историко-этнологическое исследование русских арктических старожилов Якутии в историографическом контексте.

Предмет исследования: основное внимание в исследовании уделяется происхождению русских арктических поселенцев в Якутии, субэтнической группы с уникальными культурными и историческими характеристиками. В исследовании рассматриваются различные теории об их прибытии, включая морские пути из Поморья, сухопутные пути из центральной России и роль казачьих экспедиций.

Методология исследования: в исследовании используется сочетание подходов и методов. Цивилизационный подход рассматривает генезис русских поселенцев в контексте формирования и развития этнокультурных особенностей и сознания субэтносов. Сравнительно-сопоставительный метод позволяет выявить общие черты и различия в рассматриваемой проблеме, а также провести подробный анализ местных

материалов о происхождении поселенцев Индигирки и Колымы в контексте новых документальных источников из США. Методы археографии и критического анализа источников использованы в работе с документальными материалами. Использованы также исследовательские методики, применяемые в этнографии, фольклористике, археологии.

В статье поднимаются актуальные проблемы истории русского заселения Арктики, сохранения их уникального культурного наследия, взаимодействия с коренным населением.

Научная новизна выражена введением в научный оборот новых интерпретаций роли морских путей из Поморья и существования ранних русских поселений в Северной Америке. Исследование предлагает более тонкое понимание сложных факторов, которые сформировали идентичность русских поселенцев Арктики.

Текст в целом изложен логично, содержание богато деталями, автор эффективно подкрепляет свои аргументы доказательствами. Вместе с тем, статья могла быть улучшена за счет более четкого структурирования по хронологическому принципу, последовательного анализа крупных хронологических периодов (дореволюционный, советский, постсоветский) и выделения внутри каждого периода ключевых фигур и их взглядов.

Библиография включает 19 наименований, среди которых работы XX и начала XXI вв. Автор практически не обращается к работам последних 5 лет, хотя историю русской Арктики, культурного наследия русских старожилов активно исследуют многие историки – Хатанзейский А.В., Басангова К.М., Теребихин Н.М., Трошина Т.И., Морозова О.М. Авдеев А.Г., Ермолов Е.О. и др.

Обращаясь к оппонентам, автор признает и рассматривает аргументы противоположных точек зрения, например, тех, кто ставит под сомнение роль морских путей в заселении Арктики, анализирует взгляды А.Л. Биркенгофа А.Г. Чикачев и оппонентов А.Г. Чикачева, которыми были Н.Б. Вахтин, Е.В. Головко и П. Швайцер. При этом автор приводит контраргументы и доказательства в поддержку своей собственной позиции.

Выводы, интерес для читателей. Выводы автора соответствуют содержанию. Автор считает, что происхождение русских арктических поселенцев является сложным и многогранным, включает множественные волны миграции и взаимодействия с коренным населением. Рассматривая вопрос о происхождении субэтнической группы русских арктических поселенцев Якутии, автор резюмирует: сложение русских субэтносов произошло за счет миграций русских и частичной их ассимиляции с юкагирами, эвенами и якутами. Устойчивость русских субэтносов обусловлена тем, что русские арктические поселенцы адаптировались к суровым арктическим условиям и выработали уникальную культуру и идентичность.

Результаты исследования представляют интерес для историков, антропологов и всех, кто интересуется историей России и Арктики, могут быть использованы при решении задач сохранения культурного наследия и развития устойчивых сообществ в Арктике.

В данном исследовании целесообразным было бы применение цифровых инструментов, таких как географические информационные системы (ГИС), картографирование, что позволило бы визуализировать миграционные схемы поселенцев и выявить потенциальные связи между различными поселениями. Напрашивается сравнение процесса заселения русскими других регионов Арктики, исследование историко-генетических аспектов происхождения старожилов, анализ языковых особенностей говоров старожилов. Актуальной является проблема влияния внешних факторов (политических, экономических, социальных) на жизнь старожилов.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Васильчук Ю.К. Концентрация основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.73228
EDN: QBFPIY URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73228

Концентрация основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза

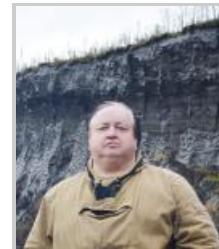
Васильчук Юрий Кириллович

ORCID: 0000-0001-5847-5568

доктор геолого-минералогических наук

профессор; кафедра геохимии ландшафтов и географии почв; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009



vasilch_geo@mail.ru

[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.73228

EDN:

QBFPIY

Дата направления статьи в редакцию:

02-02-2025

Дата публикации:

20-03-2025

Аннотация: Изучены сингенетические композитные песчано-ледяные жилы 10, 11, 12, 13, 14 и 15, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, расположенном в 10 км юго-восточнее пос. Батагай. Цель работы исследовать состав ионов в сложных песчано-ледяных жилах, для установления особенностей образования композитных жил. В ионном составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка преобладают анионы сульфатов, их содержание достигает 372 мг/л, среди катионов преобладает кальций – до 148 мг/л. Велико содержание хлоридов – до 94 мг/л, соотношение анионов хлоридов к сульфатам достигает 2,7. Среди катионов выделяются кальций – до 172 мг/л и натрий до 117 мг/л. Содержание катионов магния –

до 115 мг/л. Измерения выполнены с использованием ионного хроматографа «Стайер». Значения ЕС в среднем составляют в песчано-ледяных жилах: №10 – 407 мсм, №11 – 742 мсм, №12 – 583 мсм, №14 – 783 мсм, №15 – 696 мсм. Средние значения содержания катионов натрия в песчано-ледяных жилах: №10 – 22 мг/л, №11 – 63 мг/л, №12 – 28 мг/л №14 – 57 мг/л, №15 – 35 мг/л. Средние значения содержания катионов кальция в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,42 мг/л, №11 – 89 мг/л, №12 – 63 мг/л №14 – 92 мг/л, №15 – 98 мг/л. Средние значения содержания анионов хлоридов в песчано-ледяных жилах: №10 – 23 мг/л, №11 – 48 мг/л, №12 – 41 мг/л №14 – 51 мг/л, №15 – 35 мг/л. Средние значения содержания анионов сульфатов в песчано-ледяных жилах: №10 – 27 мг/л, №11 – 104 мг/л, №12 – 105 мг/л, №14 – 128 мг/л, №15 – 64 мг/л. В целом ионный состав композитных песчано-ледяных жил существенно отличается от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы.

Ключевые слова:

многолетнемерзлые породы, композитные песчано-ледяные жилы, поздний плейстоцен, ионный состав льда, криогеохимия, минерализация, катионы и анионы, верхний песок, Батагайский разрез, север Якутии

Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы 1.4. "Антропогенная геохимическая трансформация компонентов ландшафтов" (№ ЦИТИС 121051400083-1, при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №23-17-00082: "Палеоциклы углерода-азота в экосистемах бугристых и полигональных торфяников, едомы и в пластовых льдах на севере России")"

Введение

Дж. Росс Маккай и Дж. Мэтьюз^[32] описали захороненные ледяные и песчаные клинья, которые, возможно, древнее раннего висконсина. Они предположили, что зимний и летний климат, были такими же как сейчас или даже, немного теплее. Сохранение здесь льда показывает, что многолетнемерзлые породы присутствовали на острове Хупера, по крайней мере, с раннего висконсина.

На островах Саммер и Хадвен, западная часть Арктической Канады Дж. Мёртоном^[33], встречены песчаные жилы, и композитные песчано-ледяные клинья, которые обычно имеют простую V-образную форму. Но, не все клинья имеют V-образную форму; некоторые из них имеют неправильную форму с ответвляющимися песчаными жилами. Вертикальная или крутонаклонная слоистость не очевидна во всех клиньях; некоторые, по-видимому, имеют массивное заполнение, что предполагает, что источник песка может быть очень однородным. Композитные песчано-ледяные клинья в Крамблинг-Пойнт, Саммер-Айленд, начинали расти как сложные композитные клинья, а продолжили как песчаные клинья, затем они были изменены термокарстом и, в некоторых случаях, позднее возобновили свой рост уже как ледяные клинья.^[33]

В районе пос. Тактояктак, на западе Арктической Канады Дж. Мёртоном и М. Бейтманом^[34] изучены сингенетические и антисингенетические песчаные и сложные композитные клинья.

Исследования, выполненные А.Ю.Деревягиным с соавторами^[15] показали, что в береговой зоне и на островах моря Лаптевых многолетнемерзлые песчаные отложения

нередко содержат полигонально-жильные структуры с песчано-ледяным заполнителем – песчано-ледяные жилы. Ширина песчано-ледяные жил достигает 4–5 м (возможно, они вскрыты не совсем фронтально). Возраст вмещающих песчано-ледяные жилы отложений более 50 тыс. лет. Многоярусное расположение песчано-ледяные жил в разрезах, частые переходы в пределах одной полигонально-жильной системы от песчано-ледяных к ледяным жилам свидетельствуют по заключению А.Ю.Деревягина о многократных сменах гидрологического режима мелководного, периодически осушающегося пресноводного бассейна и фациальных условий осадконакопления песчаных отложений. Толща песков с песчано-ледяными жилами в районе мыса Мамонтов Клык, перекрывается едомными отложениями, возраст которых составляет 30–35 тыс. лет. [\[15\]](#)

Я. В. Тихонравова с соавторами [\[23\]](#) отметили, что льды в мёрзлых сартанских и отложениях второй озёрно-аллювиальной террасы и голоценовых хасыреев в низовьях р. Гыда состоят из ледяных и ледогрунтовых частей. Ледяные участки жил сложены элементарными жилками льда, образованы за счёт преобладающих процессов морозобойного растрескивания и в разной степени перекристаллизованы в зависимости от их возраста. Ледогрунтовые включения в жилах сложены вертикальными и волнистыми прожилками льда и грунтовыми жилками. [\[23\]](#)

Включения ледогрунта приурочены к разным частям ледяных жил – верхним и нижним, боковым и центральным участкам, что указывает на разное время их формирования. Ледяные жилы первой и второй генераций в сартанских отложениях останца второй террасы характеризуются признаками первичной кристаллизации: чёткой ровной вертикально-полосчатой текстурой, образованной осевыми швами элементарных жилок, иногда подчёркнутыми зажатыми между кристаллами плёнками муты и пузырьками воздуха. Признаки первичной кристаллизации указывают на то, что процесс морозобойного растрескивания был основным при формировании ледяных жил. Формирование ледогрунтовых включений по мнению Я.В. Тихонравовой связано с локальным протаиванием, заполнением полостей и медленным двухсторонним промерзанием водонасыщенного грунта в полостях в жиле на разных этапах её роста. [\[23\]](#)

Данных аналитических исследований сложных композитных песчано-ледяных жил сравнительно немного. При этом, если изотопных исследований композитных жил мало, [\[15;25,26;35,36;38\]](#) то гидрохимических работ практически совсем нет. При этом исследования ионного состава ледяных жил в российской [\[1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,16,17,20,21,22\]](#) и англоязычной [\[24,25,26,27,28,29,30,31,37,38,39,40,41,42\]](#) литературе исчисляются десятками. В диссертации В.И.Бутакова [\[3, стр. 48-49\]](#) встречается гидрохимическая характеристика ледогрунтовых включений в жилах близ пос. Гыда. Он отмечает, что ледогрунтовые части жил останцов террасы различаются по составу. Ледогрунт одной из жил – гидрокарбонатный, кальциево-магниево-натриевый, пресный (164 мг/дм³). Ледогрунтовая часть другой жилы характеризуется хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-магниевым; пресным (94 мг/дм³) составом. Повышенная минерализация, мутность, содержание гумуса, железа в ледогрунте, по сравнению с «чистым» льдом жил, вероятно, связаны с водами, обогащенными минеральными частицами и водорастворимыми соединениями. Третья ледяная жила с минеральными прожилками супеси и тонкого песка ультрапресная (44 мг/дм³) имеет гидрокарбонатный, натриево-кальциево-магниевый состав. [\[3\]](#)

Цель данной работы изучить состав ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил.

Объекты и методы

Батагайский овраг

Автором изучены сингенетические композитные песчано-ледяные жилы, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, который сравнительно недавно образовался в 10 км юго-восточнее пос. Батагай, в Верхоянском улусе, Республики Якутия (Саха) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Схема распределения разрезов композитных песчано-ледяных жил в верхней песчаной пачке, расположенной в северной части Батагайского кратера: песчано-ледяная жила 10, (67,58344° с.ш., 134,764556° в.д.), С песчано-ледяная жила 11 (67,58346° с.ш., 134,76424° в.д.), песчано-ледяная жила 12 (67,58347° с.ш., 134,76402° в.д.), песчано-ледяная жила 13 (67,58347° с.ш., 134,76456° в.д.), песчано-ледяная жила 14 (67,58150° с.ш., 134,76227° в.д.) и песчано-ледяная жила 15 (67,58150° с.ш., 134,76227° в.д.)



Рис. 2. Местоположение разрезов композитных песчано-ледяных жил в верхней

песчаной пачке Батагайского разреза: песчано-ледяные жилы №№ 10-15. Исходное фото К. Орлински

Краткая физико-географическая характеристика района

Климат, по данным метеостанции Батагай близок к умеренно-холодному. Среднегодовая температура воздуха – -14,8 °С. Наиболее холодный месяц – январь с температурами от -43 до -51 °С. [\[10\]](#)

Многолетнемерзлые породы в бассейне р. Яны имеют сплошное распространение. Активный слой достигает мощности лишь 0,2-0,4 м под лесом и мхом, и 0,4-1,2 м на открытых площадках. Многолетнемёрзлые породы, как правило, высокольдистые.

Растительность северо-таежного и лесотундрового типа. Доминируют лиственничные редколесья. Видовой состав представлен лиственницей Каяндеры, берёзой, березой карликовой, ольхой, кедровым стлаником, багульником, лапчаткой Толля, осокой рыхлой, шикшай сибирской, брусникой, голубикой, мохово-лишайниковыми комплексами.

Структура почвенного покрова представлена типичными почвами бореальной и лесотундровой зон. Почвообразующими породами района Батагайского оврага, в основном, являются делювиально-солифлюкционные отложения супесчано-легкосуглинистого гранулометрического состава, подстилаемые алевролитами, аргиллитами и песчаниками триасового возраста. [\[10\]](#) Глубина сезонно-талого слоя почв зависит от их гранулометрического состава: чем он легче, тем большую мощность имеет сезонно-талый слой. Многолетнемерзлые породы представлены слабольдистыми слитыми отложениями, чаще всего имеющими супесчано-легкосуглинистый состав, содержащими большое количество влаги и мало различных включений, имеющими окраску, как правило, более тёмную, чем вышележащие горизонты. Профили почв, были классифицированы, [\[10\]](#) как петрозёмы и псаммозёмы (отдел слаборазвитых почв), по наличию подстильочно-торфянистого и грубогумусового горизонта в почвенном профиле, соответственно. Мощность данных почв не превышала 10 см, резко переходя на этой глубине в грубообломочный материал с небольшими количеством мелкозёма – вероятно, делювий коренных трассовых пород. В седловине на пологом склоне к Батагайскому оврагу вскрывается почвенный профиль подбура иллювиально-железистого мерзлотного. Ряд разрезов представлены светлозёмыми различной мощности профиля, для которых диагностическим признаком является наличие горизонта криометаморфизации – CRM. Фоновыми почвами в районе Батагайского оврага являются светлозёмы, встречающиеся в разнообразных ландшафтных условиях, островное распространение в районе имеют подбуры, а к повышениям рельефа с близким к поверхности залеганием коренных пород приурочены слаборазвитые почвы. Основными процессами характерными для почв в районе Батагайского оврага являются: подстилкообразование, грубогумусово-аккумулятивный процесс, альфегумусовый процесс, оглеение и криогенное оструктуривание. [\[10\]](#)

Сингенетические композитные песчано-ледяные жилы, располагаются в северной части Батагайского оврага в толще верхнего песка - фациально замещающего едомные отложения (рис. 3, 4)



Рис. 3. Композитные песчано-ледяные жилы в толще верхнего песка Батагайского разреза, фациально замещающего едомные отложения, 2017 г.



Рис. 4. Северный край толщи верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

Отбор образцов и пробоподготовка

Отбор образцов льда из композитных песчано-ледяных жил, вскрываемых обнажением Батагайского оврага (рис. 5-7), производился 10-14 августа 2019 гг.

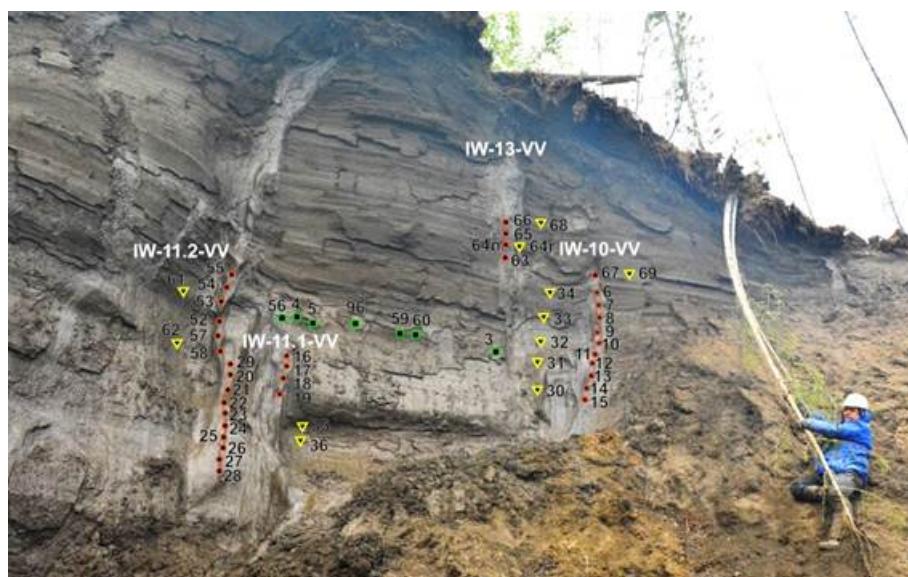


Рис. 5. Схема отбора образцов из композитных песчано-ледяных жил из верхнего песка Батагайского разреза. Песчано-ледяная жила 10 (IW-10-VV), песчано-ледяная жила 11 (IW-11-VV) и песчано-ледяная жила 13 (IW-13-VV), 2019 г.



Рис. 6. Схема отбора образцов из композитной песчано-ледяной жилы 12 (IW-12-VV) из верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

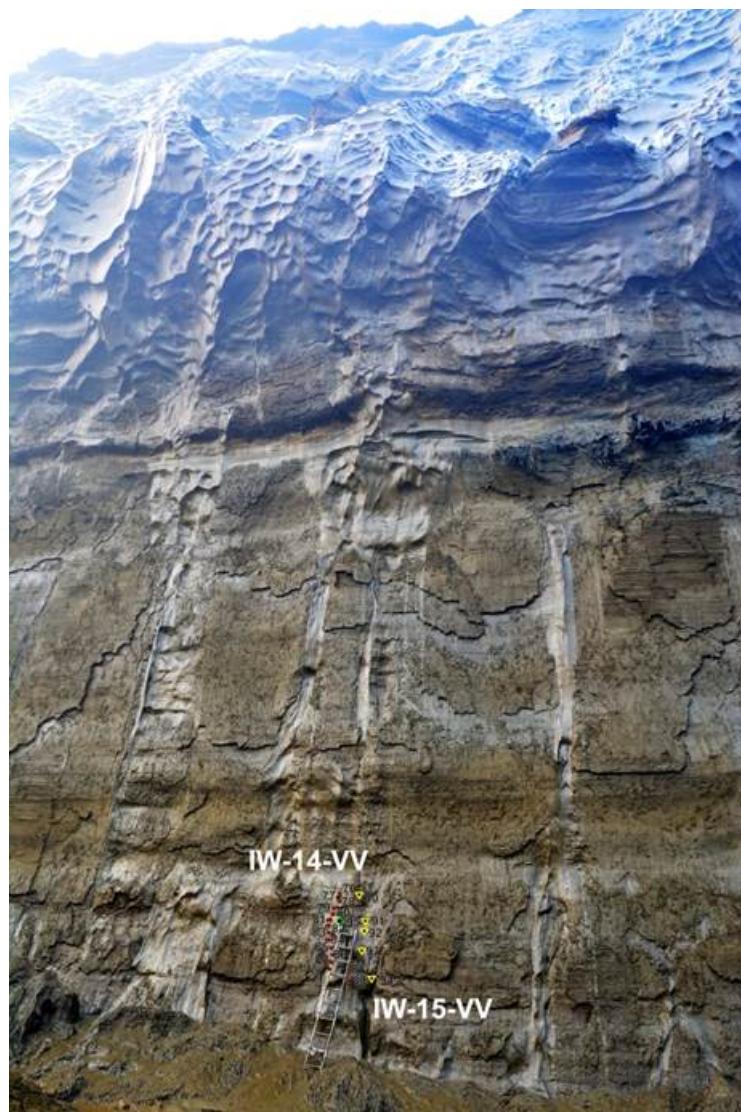


Рис. 7. Схема отбора образцов из композитных песчано-ледяных жил в нижней части верхнего песка Батагайского разреза. Песчано-ледяная жила 14 (IW-10-VV) и песчано-ледяная жила 15 (IW-11-VV), 2019 г.

Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см (рис. 8) с помощью дрелей Makita DDF481rte 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LiC стальными коронками для льда диаметром 51 мм.

Для зачистки места отбора приповерхностный слой мощностью 2-3 см с поверхности композитных песчано-ледяных жил снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS.



Рис. 8. Отбор образцов из композитной песчано-ледяной жилы 11 (CW-11-VV) из верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

Лёд растапливался в пакетах при температуре +20°C. С помощью pH- и EC-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Технические характеристики pH-метра HANNA pHep 4 HI98127 следующие: диапазон pH – от 0,0-14,0; точность измерения – до 0,1 единицы pH; погрешность измерения – 0,1 единица pH. Технические характеристики EC-метра HANNA HI 98311 следующие: диапазон электропроводности – от 0,0 до 3999,0 μ S/см; точность измерения – до 0,1 μ S/см, конверсионный коэффициент EC-TDS равен 0,45. Затем талая вода переливалась в пластиковые флаконы ёмкостью 10 мл с плотно закрывающейся крышкой.

Характеристика песчано-ледяных жил, вскрываемых обнажением Батагайского оврага

Песчано-ледяная жила 10 сложена льдом серовато-бурого с тонкими прожилками грунта (рис. 9) и пузырьками воздуха. Композитная жила 10 имеет ширину от 10 до 30 см, высоту около 1,4 м. Ее голова, залегает на глубине чуть более 2 м. В этой жиле можно выделить 3 пары слабо выраженных "плечиков".



Рис. 9. Образец из композитной песчано-ледяной жилы 10 (обр. 13)

Песчано-ледяная жила 11 имеет ширину от 15 до 30 см (рис. 10, 11), высоту более 7 м, она сложена мутным льдом серо-бурового цвета. Отмечено чередование вертикально ориентированных тонкие и толстых (толщиной более 1 мм) прожилок льда сгруппированных по 3 шт. В ней выделены 3 пары "плечиков".

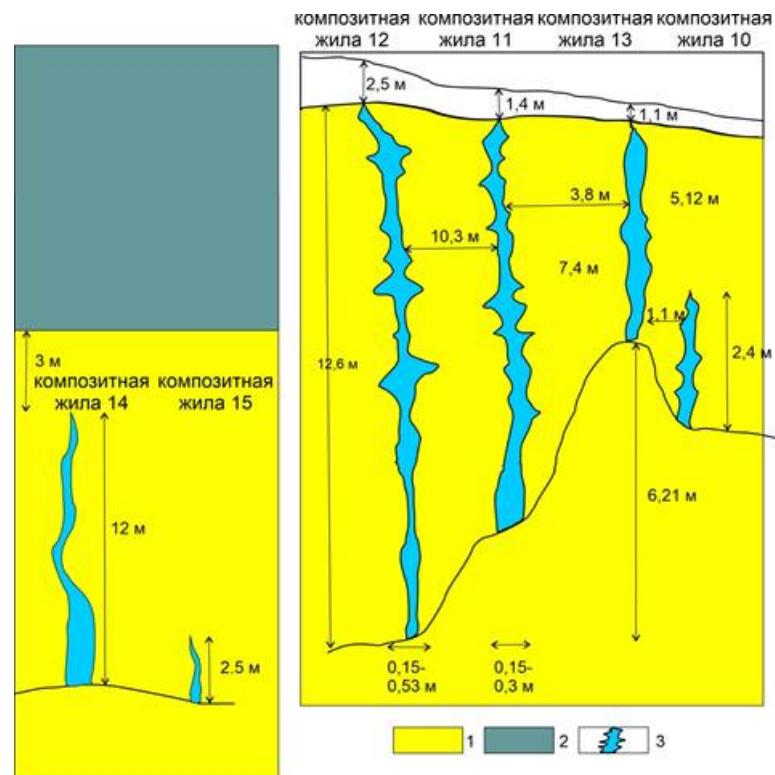


Рис. 10. Взаимное расположение и параметры композитных песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15 в толще верхнего песка. Полевая зарисовка: 1 – толща верхнего песка; 2 – верхняя часть перекрывающей едомной толщи; 3 – композитные песчано-ледяные жилы



Рис. 11. Песчано-ледяная жила 11 (рядом с ней – лестница), толща верхнего песка

Песчано-ледяная жила 12 имеет ширину от 15 до 53 см (см. рис. 10, 12), высоту более 12,5 м, она сложена льдом преимущественно серовато-бурым и коричневато-желтым льдом. В жиле 12 можно выделить 5 пар "плечиков".

Песчано-ледяная жила 13 имеет ширину от 10 до 21 см, высоту около 5,8 м. (см. рис. 5, 10), она сложена льдом мутным, коричневато-желтого цвета, с вертикально ориентированными прожилками грунта серовато-бурового, грунтовые жилки шириной от 2 до 5 мм. В жиле 13 можно выделить 3 пары слабо выраженных "плечиков".

Песчано-ледяная жила 14 в нижней части пачки верхнего песка имеет ширину до 0,7 м, высоту широкой части около 3,6 м (см. рис. 7, 10), а вверх еще примерно на 2 м она резко утоньшается и ее голова в виде острой пики заканчивается в песке на глубине более 44 м. Над жилой 14 залегает верхняя часть едомной толщи мощностью более 35 м.



Рис. 12. Образец №58 из композитной песчано-ледяной жилы 11, залегающей в толще верхнего песка Батагайского разреза



Рис. 13. Песчано-ледяная жила 12, толща верхнего песка Батагайского разреза

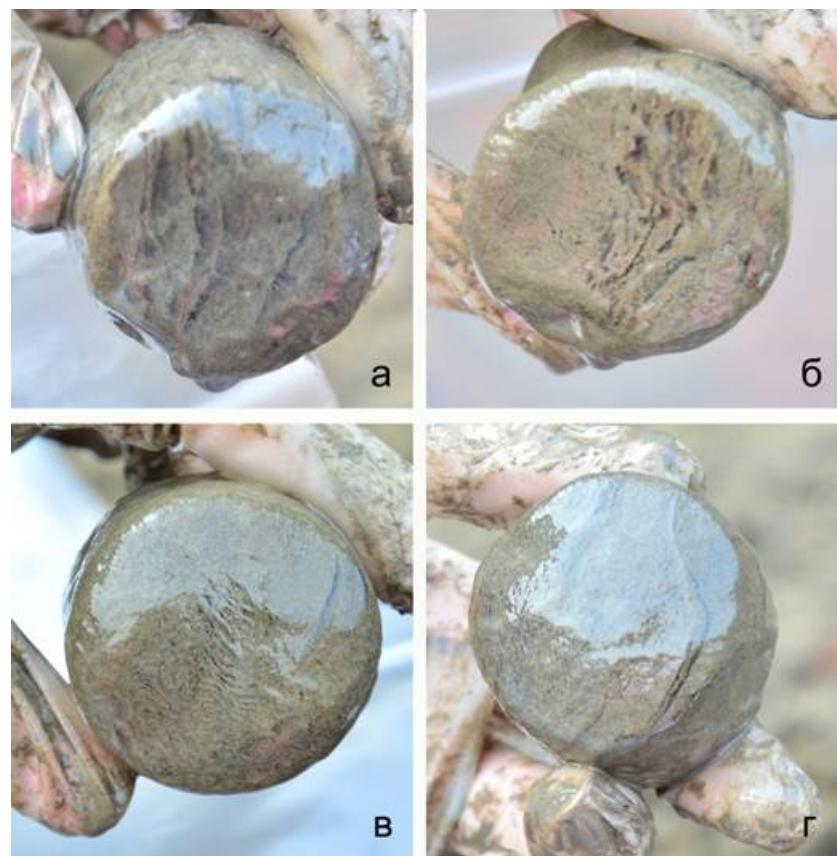


Рис. 14. Образцы из композитной песчано-ледяной жилы 12 из толщи верхнего песка Батагайского разреза: а – обр. 40; б – обр. 41; в – обр. 43; г – обр. 44



Рис. 15. Образцы из композитной песчано-ледяной жилы 12, залегающей в толще верхнего песка Батагайского разреза: а – обр. 71; б – обр. 75

Песчано-ледяная жила 15 в нижней части пачки верхнего песка имеет ширину до 0,2 м, высоту около 2,5 м (см. рис. 7, 10). Она залегает в самой нижней части пачки верхнего песка. Над жилой 15 залегает верхняя часть едомной толщи мощностью более 35 м.

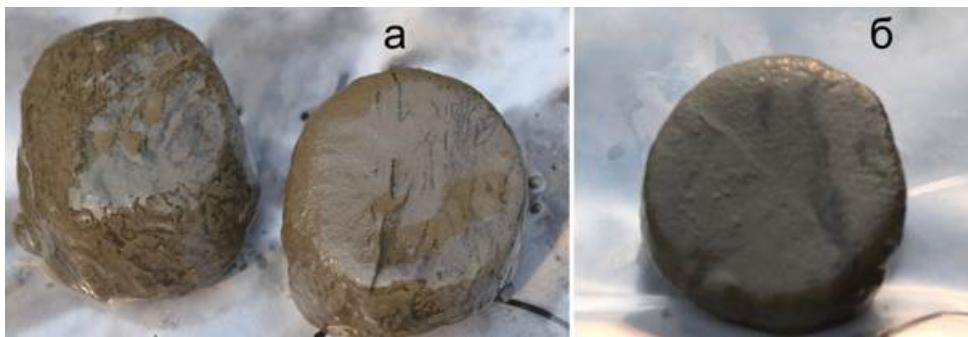


Рис. 16. Образцы из композитных песчано-ледяных жил верхнего песка Батагайского разреза: а – из песчано-ледяной жилы 14, обр. 76; б – из песчано-ледяной жилы 15, обр. 86

Лабораторный анализ и анализ и данных

Лабораторные методы

Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил, в 52 образцах, проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия), предел детектирования по хлорид-иону 0,02 мг/л. Ионный хроматограф «Стайер» предназначен для качественных и количественных определений неорганических соединений F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} в водных растворах различного происхождения (природных, технических, питьевых).

Для проб из композитных песчано-ледяных жил использована методика измерений массовой концентрации катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ в пробах питьевой, минеральной, природной и сточной воды методом ионной хроматографии ФР.1.31.2005.01738. Диапазон определяемых концентраций 0,10-20,00 мг/дм³, а для определения анионов – использована методика измерений массовой концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- в пробах питьевой, минеральной, природной и сточной воды методом ионной хроматографии ФР.1.31.2005.01724, Диапазон определяемых концентраций от 0,10 до 20,00 мг/дм³, применена методика измерений массовой концентрации ионов в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии ПНД Ф 14.1:2:4. 132-98. Диапазон определяемых концентраций по катионам 0,10-150,00 мг/дм³.

Результаты

Ионный состав композитных песчано-ледяных жил и содержание макроэлементов

Изучен ионный состав композитных песчано-ледяных жил, вскрытых в Батагайском цирке в 52 образцах из песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 10 из верхнего песка отмечено (см. табл. 1) преобладание анионов сульфатов (SO_4^{2-}), содержание которых достигает 130 мг/л, среди катионов преобладает кальций (Ca^{2+}) – 105 мг/л. В верхней части жилы велико содержание хлоридов (Cl^-) – от 34 до 66 мг/л, что приводит к наиболее высокому среди композитных жил этого разреза соотношению анионов Cl^- к SO_4^{2-} – до 2,7 (см. табл. 2).

Таблица 1. Ионный состав позднеплейстоценовых композитных песчано-ледяных жил

верхнего песка Батагайского разреза (52 образца)

Полевой номер образца	Глуб., м	ЕС, мсм	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	F, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
<i>Композитная песчано-ледяная жила №10</i>											
B-VV/2019-6	3,3	256	28,57	8,80	8,60	32,64	0,31	34,80	1,06	15,25	2,28
B-VV/2019-7	3,5	660	46,53	7,36	18,40	68,45	0,30	41,50	9,15	56,73	0,73
B-VV/2019-8	3,7	898	62,66	6,80	26,40	105,03	0,41	66,15	0,10	57,50	1,50
B-VV/2019-9	3,9	506	37,05	4,90	10,65	95,60	0,47	41,70	1,06	15,25	2,73
B-VV/2019-10	4,1	793	30,00	7,80	22,30	25,30	0,14	37,45	0,10	130,6	0,29
B-VV/2019-11	4,3	204	4,50	2,32	5,20	25,08	0,17	9,44	0,38	3,65	2,59
B-VV/2019-12	4,5	193	3,95	2,24	5,46	26,42	0,28	9,21	12,00	4,63	1,99
B-VV/2019-13	4,7	204	4,25	2,17	5,50	22,38	0,20	8,30	11,40	4,75	1,75
B-VV/2019-14	4,9	169	2,17	2,01	4,90	22,38	0,22	4,45	12,23	4,36	1,02
B-VV/2019-15	5,1	183	4,07	3,78	5,38	25,53	0,27	5,74	0,40	7,54	0,76
<i>Композитная песчано-ледяная жила №11</i>											
B-VV/2019-55	5,22	404	37,45	3,38	15,16	61,88	0,55	34,44	16,95	17,47	1,97
B-VV/2019-54	5,42	587	33,36	2,40	29,13	73,83	1,27	28,41	15,43	112,9	0,25
B-VV/2019-53	5,62	1491	117,20	5,42	63,62	74,20	1,95	67,45	23,65	372,0	0,18
B-VV/2019-52	5,82	945	55,08	2,78	67,03	102,6	0,16	60,12	27,70	108,3	0,56
B-VV/2019-57	6,02	807	57,48	4,01	42,00	84,50	0,70	67,53	7,99	60,66	1,11
B-VV/2019-58	6,22	884	59,44	6,57	57,00	135,3	0,58	55,81	54,03	102,1	0,55
B-VV/2019-29	6,4	1002	62,50	9,60	56,22	137,7	0,20	28,35	21,36	92,13	0,31
B-VV/2019-20	6,6	1101	85,95	6,71	40,71	86,14	0,46	94,50	1,12	134,0	0,71
B-VV/2019-21	6,8	845	68,78	6,10	50,42	108,54	0,50	60,08	51,37	111,1	0,54
B-VV/2019-22	7,0	343	23,00	4,00	13,06	32,63	0,46	17,03	18,55	40,08	0,42
B-VV/2019-23	7,2	989	97,05	6,55	71,95	148,8	1,11	58,30	68,60	253,9	0,23
B-VV/2019-24	7,4	956	89,68	6,03	55,12	110,4	0,92	60,72	29,12	101,6	0,60
B-VV/2019-25	7,6	498	39,63	3,33	28,49	65,22	1,05	24,52	9,74	27,22	0,90
B-VV/2019-26	7,8	264	84,33	4,21	68,28	85,56	0,95	58,91	29,49	61,17	0,96
B-VV/2019-28	8,2	497	83,52	4,63	63,54	91,68	0,35	48,42	20,56	60,80	0,80
<i>Композитная песчано-ледяная жила №12</i>											
B-VV/2019-70	13,3	734	32,77	3,42	28,78	112,4	0,12	43,26	22,45	186,8	0,23
B-VV/2019-71	13,5	644	34,86	2,63	20,32	78,53	0,22	39,74	1,22	151,7	0,26
B-VV/2019-72	13,7	672	33,56	2,18	19,60	75,65	0,16	34,17	10,28	142,0	0,24
B-VV/2019-73	13,9	841	39,51	2,09	26,43	86,65	0,29	68,70	14,76	196,4	0,35
B-VV/2019-37	14,9	622	32,48	3,55	18,61	70,00	0,20	46,41	5,71	144,9	0,32
B-VV/2019-38	15,1	1576	25,25	2,81	11,36	41,22	0,24	35,68	6,10	72,70	0,49
B-VV/2019-39	15,3	429	23,36	2,30	7,62	38,52	0,35	34,81	5,23	46,62	0,75
B-VV/2019-40	15,5	353	18,40	1,88	9,80	37,94	0,28	27,27	4,31	46,80	0,58
B-VV/2019-41	15,7	349	18,11	1,32	10,15	38,51	0,29	27,50	4,33	46,80	0,59
B-VV/2019-42	15,9	574	28,44	2,78	20,89	76,31	0,14	40,35	5,36	189,4	0,21
B-VV/2019-43	16,13	469	35,62	1,89	11,20	39,40	0,29	46,26	4,18	71,85	0,64
B-VV/2019-44	16,33	360	29,55	2,33	14,87	63,45	0,35	46,91	6,50	67,37	0,70
B-VV/2019-45	16,53	408	21,02	1,89	13,40	60,45	0,39	31,63	8,78	57,42	0,55
B-VV/2019-46	16,73	361	43,45	2,74	23,94	88,89	0,40	74,68	16,80	110,0	0,69
<i>Композитная песчано-ледяная жила №13</i>											
B-VV/2019-65	2,48	-	47,70	4,48	39,60	117,2	0,18	37,90	2,46	210,9	0,18
<i>Композитная песчано-ледяная жила №14</i>											
B-VV/2019-78	46,85	723	48,60	2,74	38,20	58,72	0,21	58,42	140,4	91,23	0,64
B-VV/2019-79	47,0	331	38,00	5,47	44,92	83,65	0,26	40,25	0,10	72,15	0,56
B-VV/2019-80	47,1	736	44,25	5,36	40,62	90,45	0,30	41,34	3,84	72,96	0,57
B-VV/2019-81	47,2	818	46,30	3,60	44,00	88,70	0,40	48,00	50,54	92,61	0,52
B-VV/2019-82	47,3	704	38,14	3,06	35,03	67,81	0,60	37,90	50,34	67,50	0,56
B-VV/2019-83	47,4	864	51,56	3,90	50,36	96,10	0,55	48,48	46,92	86,70	0,56
B-VV/2019-84	47,5	1359	90,33	5,82	80,00	108,0	0,77	65,60	0,10	237,7	0,28
B-VV/2019-85	47,65	-	85,50	6,86	115,0	172,0	0,80	57,88	5,83	286,0	0,20
B-VV/2019-86	47,75	727	78,50	2,74	74,80	80,90	1,24	69,15	88,90	157,4	0,44
B-VV/2019-87	47,85	-	76,30	4,13	85,50	113,5	0,60	60,00	35,21	180,6	0,33
<i>Композитная песчано-ледяная жила №15</i>											
B-VV/2019-88	47,95	774	41,90	3,51	44,85	112,0	0,16	40,00	46,74	67,59	0,59
B-VV/2019-89	48,25	617	32,46	5,50	32,63	85,36	0,40	31,36	56,08	62,38	0,50

Таблица 2. Минимальные, средние и максимальные значения содержания ионов в композитных песчано-ледяных жилах верхнего песка Батагайского разреза

Значения содержания	ЕС, мсм	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	F, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
<i>Композитная песчано-ледяная жила №10 (10 образцов)</i>										
Минимальные	169	2,17	2,01	4,90	22,38	0,14	4,45	0,10	3,65	0,29
Средние	407	22,38	4,82	12,00	42,84	0,26	23,93	4,36	27,63	1,45
Максимальные	898	62,66	8,8	26,40	105,03	0,47	66,15	12,23	130,6	2,73
<i>Композитная песчано-ледяная жила №11 (15 образцов)</i>										
Минимальные	264	23,00	2,40	13,06	32,63	0,16	17,03	1,12	17,47	0,18

.....
Средние	742	63,59	4,88	45,92	89,48	0,71	48,85	24,80	104,56	0,64
Максимальные	1491	117,2	9,60	71,95	148,8	1,95	94,50	68,60	372,0	1,97
<i>Композитная песчано-ледяная жила №12 (14 образцов)</i>										
Минимальные	349	18,11	1,32	7,62	37,94	0,12	27,27	1,22	46,62	0,21
Средние	583	28,97	2,32	16,31	63,06	0,26	41,64	7,82	105,16	0,45
Максимальные	1576	43,45	3,55	28,78	112,4	0,40	74,68	22,45	196,4	0,75
<i>Композитная песчано-ледяная жила №14 (10 образцов)</i>										
Минимальные	331	38,00	2,74	35,03	58,72	0,21	37,90	0,10	67,50	0,20
Средние	783	57,77	4,22	58,50	92,60	0,54	51,36	38,39	128,40	0,44
Максимальные	1359	90,33	6,86	115,0	172,0	1,24	69,15	140,4	286,0	0,64
<i>Композитная песчано-ледяная жила №15 (2 образца)</i>										
Минимальные	617	32,46	3,51	32,63	85,36	0,16	31,36	46,74	62,38	0,50
Средние	696	35,60	4,51	36,70	98,68	0,28	35,68	51,41	64,99	0,55
Максимальные	774	41,90	5,50	44,85	112,0	0,40	40,00	56,08	67,59	0,59

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 11 из верхнего песка зафиксировано самое высокое среди композитных жил верхнего песка анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 372 мг/л (см. табл. 1) и даже среднее их значение превышает 100 мг/л. Среди катионов выделяются кальций (Ca^{2+}) - до 148 мг/л и натрий (Na^+) до 117 мг/л. Соотношению хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) не превышает 2, составляя в среднем 0,64 (см. табл. 2).

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 12 из верхнего песка выделено заметное присутствие катионов кальция (Ca^{2+}) - до 112 мг/л (см. табл. 1), анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 196 мг/л и хлоридов до 74 мг/л. Соотношению хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) относительно невелико: в среднем 0,45 и не превышает 0,75 (см. табл. 2).

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 13 из верхнего песка зарегистрировано высокое содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 210 мг/л (см. табл. 1), низкое присутствие хлоридов 37 мг/л. Это определяет и низкое значение соотношения хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) - 0,18 (см. табл. 2). Среди катионов преобладает кальций (Ca^{2+}) 117 мг/л.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 14 из верхнего песка установлено довольно высокое содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 286 мг/л (см. табл. 1) и хлоридов - до 69 мг/л, при этом средние их значения составляют соответственно 128 и 51 мг/л. Соотношение хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) тоже высокое и в среднем составляет 0,44 (см. табл. 2). В этой жиле зафиксировано самое высокое содержание нитратов (NO_3^-) - до 140 мг/л. Среди катионов преобладают кальций (Ca^{2+}) - в среднем 92 мг/л и магний (Mg^{2+}) - в среднем 58 мг/л, заметно и присутствие натрия (Na^+) - в среднем 57 мг/л.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 15 из верхнего песка констатировано стабильное содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) от 62 до 64 мг/л, сравнительно высокое содержание нитратов (NO_3^-) от 46 до 56 мг/л (см. табл. 1).

Дискуссия

Композитные песчано-ледяные жилы

Композитные песчано-ледяные жилы встречены автором в самой верхней части разреза Усть-Алганский, который расположен на левом берегу р. Майн в 6 км ниже устья р. Алган, по течению реки на 7 км выше Ледового Обрыва.^[9] Высота его на момент описания составляла около 60 м. Усть-Алганская толща представлена, в основном, мелкими горизонтально-слоистыми песками, желтовато-серыми и серыми. В интервале глубин 20-23 м (на высоте 37-40 м от уреза реки), 49-53 м (на высоте 7-11 м от уреза реки) и 55,3-55,7 м (на высоте 4,7-4,3 м от уреза реки) отмечены частые прослои аллохтонного торфа мощностью от 0,5 до 2 см. В двух нижних оторfovанных слоях также содержится большое количество веток кустарников, изредка стволов деревьев. В разрезе прослежено 7 циклитов - внизу 5 ярусов узких повторно-жильных льдов, а вверху два яруса песчаных (м.б. песчано-ледяных?) жил (рис. 17), ширина их редко превышает 1 м, высота составляет 7-8 м, расстояние между жилами от 3 до 4 м.

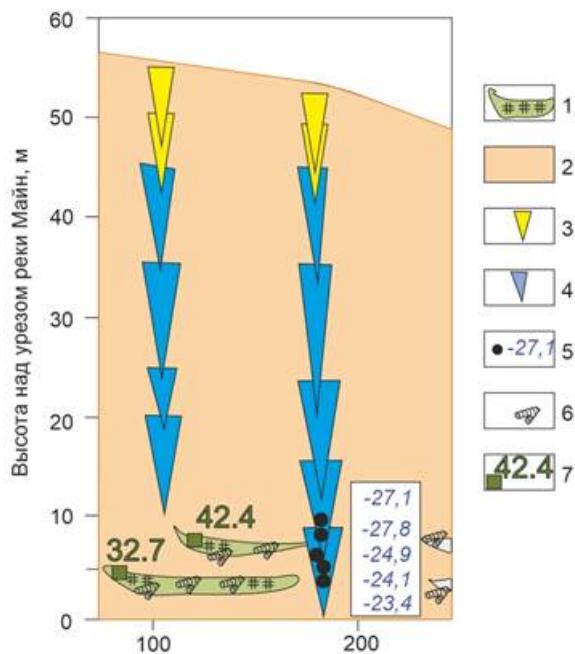


Рис. 17. Циклическое строение криолитологического разреза позднеплейстоценового песчаного комплекса в долине р. Майн, в обнажении Усть-Алганский. По [9]: 1 – торф; 2 – песок; 3 – песчаные (песчано-ледяные?) жилы; 4 – повторно-жильный лед; 5 – значения $\delta^{18}\text{O}$ в ледяных жилах, ‰; 6 – древесные остатки; 7 – отбор образцов для радиоуглеродных определений

По-видимому, в начальный период формирования Усть-Алганской толщи в ее образовании активно участвовали русловые процессы, что и приводило к накоплению мощных линз и прослоев аллохтонного органического материала. Об аллохтонном происхождении говорит и инверсия радиоуглеродных дат. На высоте 5 м над урезом по хорошо сохранившимся веткам и древесине авторами получена дата 32700 ± 1800 лет (ГИН-5367), а на высоте 7 м – более древняя 42400 ± 2100 лет (ГИН-5366). Ранее, в основании разреза по веткам получена дата 43 тыс. лет назад, а выше – более 57 тыс. лет назад.^[7] Инверсия вызвана привносом органики из более древних толщ, размывавшихся выше по течению реки. Более молодую датировку можно принять за нижнюю границу накопления толщи и тогда, с учётом большой мощности толщи, надо

признать, что на отдельных этапах седиментация здесь происходила очень быстро и скорость осадконакопления достигала 5 м за тысячу лет.

Композитные песчано-ледяные жилы описали Т.Н. Каплина и А.В.Шер^[18] в разрезе Сыпной яр. Здесь на большом протяжении вскрывается преимущественно песчаная толща аллювиальных осадков мощностью около 50 м. Для толщи Сыпного яра в целом характерно отсутствие крупных скоплений костей различных животных. Это обстоятельство отражает констративный тип накопления толщи, отсутствие интенсивного перемыва осадков, приводящего обычно к вторичной концентрации костных остатков. Т.Н. Каплина подчеркивает, что наличие двух ярусов ледяных жил, и, по крайней мере, одного яруса псевдоморфоз в нижней пачке осадков с древесными остатками позволяет уверенно говорить о том, что процессы формирования полигонально-жильных льдов протекали не только после завершения, но и в ходе накопления песчаной толщи Сыпного яра. Более того, несмотря на то что ледяные жилы погребались под песками и, испытывали хотя бы временное затопление, они не вытаивали. Ледяные жилы в супесчано-суглинистых пачках имеют различные размеры, причем отмечается связь как вертикальных, так и горизонтальных размеров с мощностью пачек. Наиболее мощные ледяные жилы были обнаружены на высоте 14-18 м над рекой, где ширина жил по верху составляла 2,5 м. Размеры полигонов в среднем составляют 7-9 м, но следует отметить, что часто встречаются сгущения сетки до 3-4 м, правда, в этих случаях сами жилы имеют меньшие размеры. Особый интерес, по мнению Т.Н. Каплиной и А.В. Шера^[18] представляет взаимоотношения супесчано-суглинистых осадков, песков и ледяных жил. При резкой смене снизу вверх по разрезу (при налегании) русловых песков на супеси (легкие суглинки) верхняя поверхность ледяных жил имеет обычно ровный горизонтальный срез. При постепенном изменении супесчано-суглинистого состава на песчаный, или через переслаивание заиленных и мелкозернистых песков, часто у ледяных жил сохраняются небольшие ростки, иногда в разрезах можно видеть несколько вложенных ярусов ледяных жил, что свидетельствует о динамичности, изменчивости условий их роста, вероятно, о достаточно быстром накоплении насылающихся друг на друга пачек аллювия. Исследованные жилы имели высокую степень загрязненности грунтом – в них встречается много вертикальных полосок, состоящих из тонкого песка или пыли. Наряду с ледяными в разрезах были встречены некрупные ледогрунтовые жилы – шириной до 0,3 м, вертикальной протяженностью до 1,5 м. Такие жилы встречены в заиленных песках, но часто приурочены и к мелкозернистым пескам, т.е. они росли в нижней части прирусовой отмели. Они отличаются особенно часто перестроенными решетками. Такие системы в целом являются синхронными вмещающим осадкам. В свое время Ю.А. Лаврушин наметил два типа разрезов констративного аллювия, в которых размещение ледяных жил может быть ярусным. В первом случае ярусность обусловлена четкой сменой литологии, во втором – климатическими колебаниями. Т.Н. Каплина заключает, что Сыпной яр является примером толщи первого типа.^[18]

Дж. Мёртон и М. Бейтман^[34] изучили в пределах песчаных толщ формации киттигазуит, мощностью не менее 10 м, на юго-западе острова Саммер и прилегающем острове Ричардс три изолированные, заполненные песком жильные структуры узкой, трубообразной формы. Песчаные позднеплейстоценовые толщи в прибрежных районах близ пос. Тактояктак, западная арктическая Канада, содержат сингенетические песчаные жилы шириной 1-21 см, иногда достигающие более 9 м в высоту. Их высокая и узкая, похожая на трубу морфология отличается от известных сингенетических ледяных клиньев и указывает на необычно близкий баланс между скоростью накопления

песчаной толщи и частотой растрескивания при термическом сжатии.[\[34\]](#)

Под голоценовой песчаной толщей около залива Джонсон песчаные клинья с необычно широкими вершинами (шириной около 3,9 м) простираются вниз от выступающей поверхности эрозии. Песчаные клинья росли вертикально вниз во время дефляции поверхности земли и представляют собой антисингенетические клинья.[\[34\]](#)

Трубообразная форма характеризует более или менее равномерную ширину структур с глубиной; поскольку у них отсутствует нисходящая конусность, обычно характерная для клиньев. Стороны песчаных жил содержали от одного до семи горизонтальных «плечиков», над которыми жила резко сужалась, обычно на несколько сантиметров. Высота одной из жил превышала 9 м. Внутри жилы были заполнены мелким песком и илистым мелким песком, похожим на переслаивающиеся песчаные и илистые песчаные фации вмещающего песчаного пласта. Заполнение жил содержало случайные гранулы до мелкой гальки.[\[34\]](#)

Следует отметить, что эоловый генезис песков с композитными песчано-ледяными жилами автору представляется весьма малореалистичным. В связи с этим можно вспомнить криогенном строении таких характерных эловых форм, как ткуланы. В песчаной толще ткуланов, часто можно встретить песчаные небольшие жилки, но протяженных песчано-ледяных жил пока ни разу не встречено. Если ледяные жилы и отмечены в толще ткуланов, то они приурочены к озерно-болотным фациям, как например, ледяные жилы, встреченные в разрезе Кысыл-Сырского ткулана, под мощным автохтонным торфяником, формировавшимся 10-3,5 тыс. лет назад.[\[19, с.17\]](#)

А.Ю.Деревягиным и др.[\[15\]](#) приведены данные по распространению, криогенному строению и изотопному составу композитных песчано-ледяных жил в плейстоценовых песчаных отложениях (возраст более 50 тыс. лет) на побережье и островах моря Лаптевых. Мощные толщи песков подстилают отложения верхнеплейстоценового ледового комплекса и содержат несколько ярусов композитных песчано-ледяных жил. В изученных разрезах описаны переходы от композитных песчано-ледяных жил к повторно-жильным льдам и зоны контакта песчано-ледяных жил с вышележащими повторно-жильными льдами ледового комплекса. Наиболее легким изотопным составом (средние значения $\delta^{18}\text{O}$ от -34,3 до -36,0 ‰ и величины $\delta^2\text{H}$ от -258,2 до -280,8 ‰) характеризуются древние полигонально-жильные системы, развитые в отложениях о. Большой Ляховский. Песчано-ледяные жилы в верхнеплейстоценовых песках мыса Мамонтов Клык (Анабаро-Оленекское междуречье) имеют более тяжелый изотопный состав (средние значения $\delta^{18}\text{O}$ от -28,5 до -31,7 ‰ и величины $\delta^2\text{H}$ от -222,4 до -245,4 ‰). Изотопный состав песчано-ледяных жил указывает на холодные и сухие климатические условия периода их формирования. Сравнительный анализ изотопного состава изученных композитных песчано-ледяных жил и повторно-жильных льдов показывает их сходство. Приведенные А.Ю.Деревягиным[\[15\]](#) данные указывают на широкое распространение песчаных отложений с композитными песчано-ледяными жилами в разрезах четвертичных отложений на крайнем севере Якутии. Особенности криогенного строения отложений, включающих композитные песчано-ледяные жилы, свидетельствуют по мнению А.Ю.Деревягина[\[15\]](#) о субаэральных условиях их формирования. Он подчеркивает, что во многих случаях композитные песчано-ледяные жилы образуют с повторно-жильными льдами единую полигональную систему. Наблюдаются переходы от композитных песчано-ледяных жил к повторно-жильных льдам как в горизонтальном, так и в вертикальном профиле одной жилы. Переход от песчаной

толщи к отложениям ледового комплекса сопровождается увеличением содержания пылеватых частиц, органических включений, прослоев и линз торфа, возраст которых около 40-46 тыс. лет. Мощные сингенетические ледяные жилы ледового комплекса внедряются в нижележащую песчаную толщу на глубину до 5-6 м, нередко расщепляя композитные песчано-ледяные жилы. Изотопный состав композитных песчано-ледяных жил весьма близок к изотопному составу ледяных жил ледового комплекса, что указывает на генетическое сходство источников их питания. А.Ю.Деревягин отмечает, что формирование композитных песчано-ледяные жил происходит на некоторых участках дельты Лены и Земли Бунге и в настоящее время.[\[15\]](#)

Современные песчаные жилы активно формируются в сезонно-мерзлых грунтах в пределах зоны прерывистого распространения многолетнемерзлых пород на западном берегу Большого Невольничего озера ($62,4302^{\circ}$ с.ш.; $115,2960^{\circ}$ з.д.), на Северо-Западной территории Канады, где господствует субарктический континентальный климат с осадками 291 мм в год, среднегодовой температурой воздуха $-4,1^{\circ}\text{C}$, теплым летом (средняя температура июля = $17,0^{\circ}\text{C}$) и холодной зимой (средняя температура января = $-26,6^{\circ}\text{C}$). Пять лет прямых полевых наблюдений, выполненных С. Вульфом с соавторами[\[45\]](#) показывают, что межгодовые изменения теплового режима грунта в основном определяются зимней температурой воздуха и состоянием снежного покрова. На песчаных участках тонкий снежный покров и высокая теплопроводность способствуют быстрому замерзанию, высоким темпам охлаждения грунта и низким температурам у поверхности грунта (от -15 до -25°C), что приводит к образованию трещин термического сжатия, проникающих на глубину до 1,2 м. Растрескивание при температурном сжатии происходит при низком содержании влаги (<4%). Потенциал растрескивания высок в песчаных почвах, когда температура воздуха $<-30^{\circ}\text{C}$, а толщина снежного покрова $<0,15$ м. Напротив, поверхностные условия в торфяниках поддерживают многолетнемерзлые породы, но растрескивание при температурном сжатии не происходит, поскольку более толстый снежный покров и термические свойства торфа поддерживают более высокие зимние температуры почвы. Трещины при температурном сжатии, которые развиваются в песчаных грунтах, заполняются поверхностным (аллохтонным) и/или вмещающим (автохтонным) материалом во время сезона оттаивания. Эпигенетические песчаные клинья, заполненные аллохтонным песком, развиваются в бывших пляжных отложениях под активным эоловым песчаным покровом. Более узкие и глубокие сингенетические клинья образуются в пределах аградирующих эоловых песчаных толщ, тогда как более широкие и мелкие антисингенетические клинья образовались в областях активной эрозии.[\[45\]](#)

Содержание ионов в композитных песчано-ледяных жилах

Использование ионного состава композитных песчано-ледяных жил, как геохимического трассера для исследования проблемы генезиса и процессов формирования композитных жил позволяет получить дополнительные доказательства природы песчано-ледяных жил и условий их формирования.

Согласно AMS датировкам органического материала, экстрагированного непосредственно из песчано-ледяных жил накопление композитных клиньев в пачке Верхнего Песка Батагайской толщи началось не позднее 38 тыс. кал. лет назад и закончилось не ранее 23,5 тыс. кал. лет назад.[\[43,44\]](#)

Примерно в это же время формировались жилы 17 и 20 в едомной части этого разреза. Интересно сравнить ионный состав этих почти синхронных фациальных разностей.

В ПЖЛ-5 Батагайской едомы содержание сульфатов изменяется от 2 до 17 мг/л, составляя в среднем 6,35 мг/л, в ПЖЛ-7 Батагайской едомы содержание сульфатов изменяется от 1,4 до 40,5 мг/л, составляя в среднем 5,79 мг/л.^[7] Средняя концентрация анионов сульфатов в ледяной жиле IW-17 составляет - 4,15 мг/л,^[6] максимальная 30,47 мг/л и минимальная 1,06 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка анионы сульфатов преобладают (рис. 18-21), при этом их содержание почти в 100 раз больше, чем во льду большинства едомных жил Батагайской толщи^[6,7,42] и достигает 372 мг/л.

Наиболее существенным отличием ионного состава композитных песчано-ледяных жил от одновременно накапливавшихся повторно-жильных льдов Батагайской едомной толщи является преобладание анионов сульфатов их содержание на один и даже на два порядка больше, чем во льду большинства едомных жил; среди катионов в составе композитных жил выделяются кальций. Вероятно, на химический состав песчано-ледяных жил оказывали влияние континентальные аэрозоли и склоновые надмерзлотные воды. Надо, полагать, что композитные песчано-ледяные жилы формировались при активном участии склоновых процессов и склоновых надмерзлотных вод.

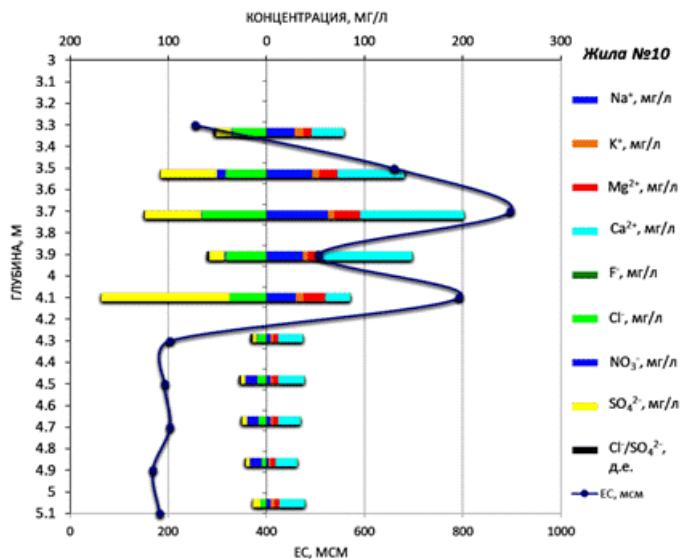


Рис. 18. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 10 из верхнего песка

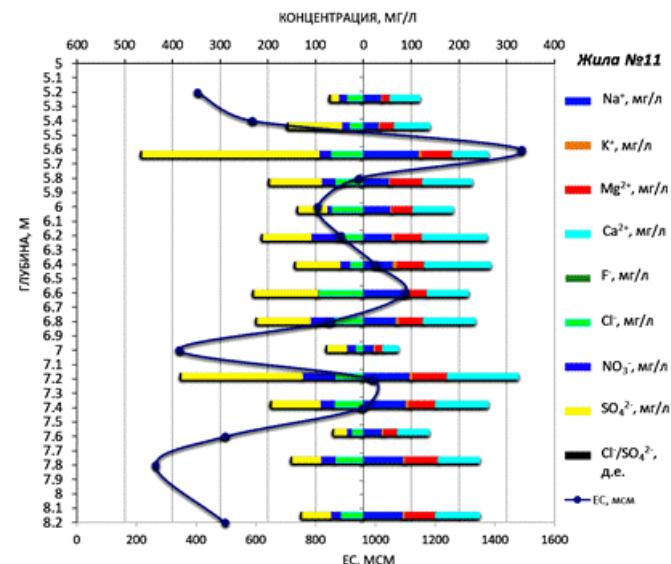


Рис. 19. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 11 из верхнего песка

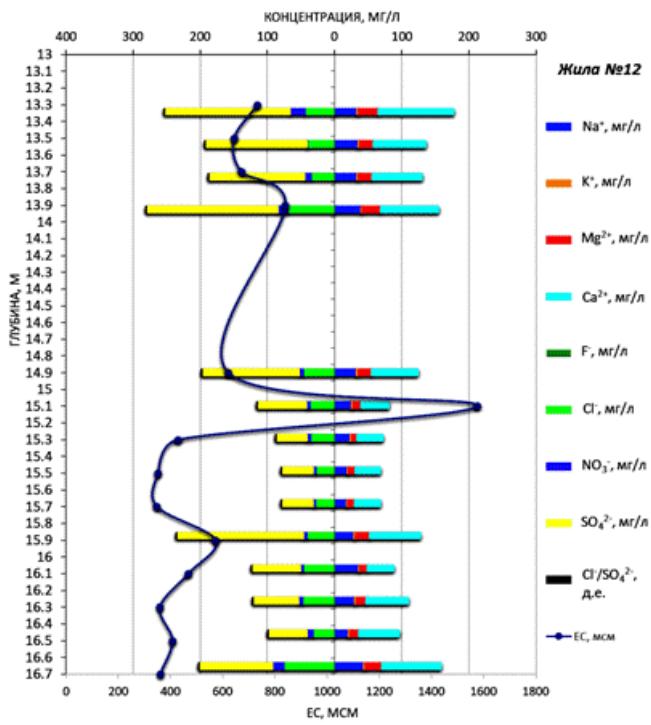


Рис. 20. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 12 из верхнего песка

В ПЖЛ-5 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 1,08 до 7 мг/л, составляя в среднем 2,6 мг/л, в ПЖЛ-7 содержание хлоридов изменяется от 1,13 до 4,5 мг/л, составляя в среднем 1,96 мг/л. В IW-17 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 0,9 до 34,51 мг/л, составляя в среднем 2,15 мг/л. В IW-20 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 1,18 до 50,32 мг/л, составляя в среднем 1,18 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил анионы хлора заметно представительнее и достигают в жиле 12 (см. рис. 20) – 74 мг/л (здесь в среднем анионы хлора 41 мг/л) и в жиле 11 (см. рис. 19) – 94 мг/л (здесь в среднем анионы хлора 48 мг/л), т.е. содержание хлоридов в композитных песчано-ледяных жилах почти в 20 раз больше, чем в ледяных жилах Батагайской едомы.

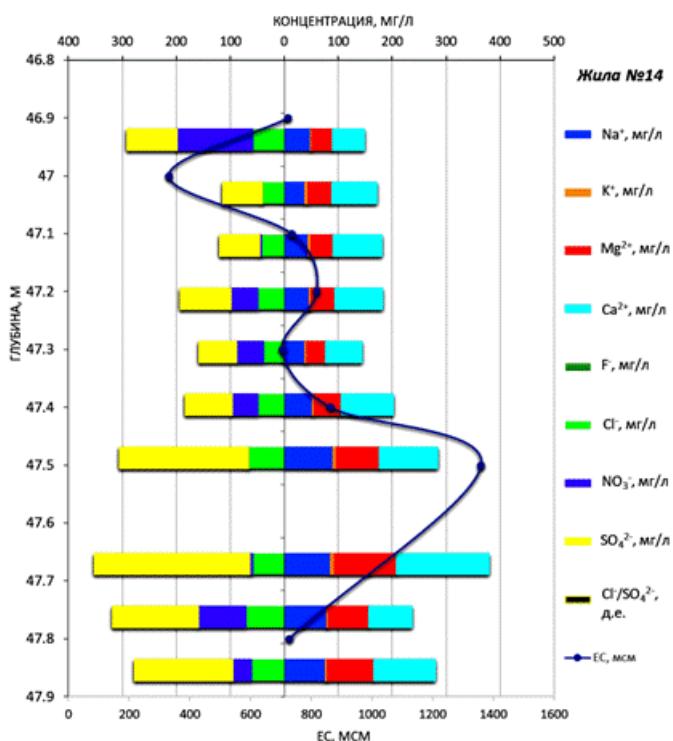


Рис. 21. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 14 из верхнего песка

В ионном составе повторно-жильного льда IW-17 преобладают катионы натрия и кальция, достигая в одном из образцов 24 и 53 мг/л соответственно, [6] в этом же образце анионы хлора достигают 34 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка среднее содержание катионов натрия увеличивается от 22 мг/л в жиле 10 (см. рис. 18) до 57 мг/л в жиле 14 (см. рис. 21), и даже до 63 мг/л в жиле 11 (см. рис. 19). Среднее содержание катионов кальция увеличивается от 42 мг/л в жиле 10 до 98 мг/л в жиле 15 и до 92 мг/л в жиле 14.

Ионный состав композитных песчано-ледяных жил существенно отличается от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы: а). Значения ЕС в среднем составляют в песчано-ледяных жилах: №10 – 407 мсм, №11 – 742 мсм, №12 – 583 мсм, №14 – 783 мсм, №15 – 696 мсм; б). Средние значения содержания катионов Na^+ в песчано-ледяных жилах: №10 – 22 мг/л, №11 – 63 мг/л, №12 – 28 мг/л №14 – 57 мг/л, №15 – 35 мг/л; в). Средние значения содержания катионов K^+ в песчано-ледяных жилах: №10 – 4 мг/л, №11 – 4 мг/л, №12 – 2 мг/л №14 – 4 мг/л, №15 – 4 мг/л; г). Средние значения содержания катионов Mg^{2+} в песчано-ледяных жилах: №10 – 12 мг/л, №11 – 45 мг/л, №12 – 16 мг/л, №14 – 58 мг/л, №15 – 36 мг/л; д). Средние значения содержания катионов Ca^{2+} в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,42 мг/л, №11 – 89 мг/л, №12 – 63 мг/л №14 – 92 мг/л, №15 – 98 мг/л; е). Средние значения содержания фторидов F^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,26 мг/л, №11 – 0,71 мг/л, №12 – 0,26 мг/л №14 – 0,54 мг/л, №15 – 0,28 мг/л; ж. Средние значения содержания анионов хлоридов Cl^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 23 мг/л, №11 – 48 мг/л, №12 – 41 мг/л №14 – 51 мг/л, №15 – 35 мг/л; з. Средние значения содержания анионов NO_3^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 4 мг/л, №11 – 24 мг/л, №12 – 7 мг/л №14 – 38 мг/л, №15 – 51 мг/л; и. Средние значения содержания анионов SO_4^{2-} в песчано-ледяных жилах: №10 – 27 мг/л, №11 – 104 мг/л, №12 – 105 мг/л, №14 – 128 мг/л, №15 – 64 мг/л; к. Средние значения соотношения $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ в песчано-ледяных жилах: №10 – 1,45, №11 – 0,64, №12 – 0,45, №14 – 0,44, №15 – 0,55.

Выводы

- Использование ионного состава композитных песчано-ледяных жил, как геохимического трассера для исследования проблемы генезиса и процессов формирования композитных жил позволяет получить дополнительные доказательства природы песчано-ледяных жил и условий их формирования.
- Наиболее существенным отличием ионного состава композитных песчано-ледяных жил от одновременно накапливавшихся повторно-жильных льдов Батагайской едомной толщи является преобладание анионов сульфатов их содержание (до 372 мг/л) на один и даже на два порядка больше, чем во льду большинства едомных жил; среди катионов в составе композитных жил выделяются кальций (до 172 мг/л).
- На химический состав песчано-ледяных жил располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера, оказывали влияние континентальные аэрозоли и склоновые надмерзлотные воды.
- Композитные песчано-ледяные жилы формировались при активном участии склоновых процессов и склоновых надмерзлотных вод.

Благодарности

Автор благодарен Л.Б. Блудушкиной, Н.А. Буданцевой, А.П. Гинзбургу, Л.В. Добрыдневой, Е.С. Слышкиной и А.Ю. Тришину и за помощь в полевых и лабораторных исследованиях и в оформлении работы.

Библиография

1. Анисимова Н.П. *Криогидрохимические особенности мерзлой зоны*. Новосибирск: Наука. 1981. 151 с.
2. Бутаков В.И., Слагода Е.А., Опокина О. Л., Томберг И.В., Жученко Н.А. Особенности формирования гидрохимического и микроэлементного состава разных типов подземных льдов мыса Марре-Сале // *Криосфера Земли*. 2020. Том XXIV. № 5. С. 29-44. doi:10.21782/KZ1560-7496-2020-5(29-44).
3. Бутаков В.И. Особенности формирования геохимического состава подземных льдов Карского региона / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Тюмень, 2022. 25 с.
4. Васильчук Ю.К. *Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций)*. М.: Изд. Отдел. Теоретических проблем РАН. МГУ, ПНИИС. 1992. В 2-х томах. Т. 1. – 420 с. Т. 2. – 264 с.
5. Васильчук Ю.К. Геохимический состав подземных льдов севера Российской Арктики // Арктика и Антарктика. 2016. № 2. С. 99-115. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.2.21378 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=21378
6. Васильчук Ю.К. Ионный состав повторно-жильных льдов №17 и №20 Батагайской едомы // Арктика и Антарктика. 2024. № 3. С. 65-90. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.3.71272 EDN: QWEIZV URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71272
7. Васильчук Ю.К. Концентрация основных растворимых ионов в ледяных жилах ПЖЛ-5 и ПЖЛ-7 Батагайской едомы // Арктика и Антарктика. 2024. № 4. С. 57-80. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.72210 EDN: LBJOHS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72210
8. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. Изотопно-геохимические особенности Батагайской едомы (предварительные результаты) // Арктика и Антарктика. 2017. № 3. С. 69-98. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.3.24433 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=24433
9. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Типы циклитности едомных толщ в долине реки Майн, Чукотка // Арктика и Антарктика. 2019. № 2. С. 34-61. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.2.29667 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29667
10. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Гинзбург А.П. Криогенные почвы в районе Батагайского мегаоврага, север Якутии // Арктика и Антарктика. 2020. № 3. С. 52-99. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.3.33599 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33599
11. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Гинзбург А.П. Геохимический состав повторно-жильных льдов в Батагайской едоме // Арктика и Антарктика. 2021. № 2. С. 70-92. DOI: 10.7256/2453-8922.2021.2.35962 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35962
12. Волкова В. П., Романовский Н. Н. Некоторые особенности химического состава подземных льдов Уяндинской впадины и прилегающих частей Селенняхского хребта // *Мерзлотные исследования*, вып. 10. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1970. С. 114-128.
13. Волкова В. П., Романовский Н. Н. О химическом составе подземных льдов в четвертичных отложениях южной части Яно-Индигирской низменности // *Проблемы*

криолитологии, вып. 4. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1974. С. 199-208.

14. Данилов И. Д., Соломатин В. И., Шмидеберг Н. А. Химический состав подземных льдов как показатель условий их формирования и генезиса вмещающих пород // Природные условия Западной Сибири. Вып. 7. М.: Издательство Московского университета. 1980. С. 119-126.

15. Деревягин А.Ю., Куницкий В.В., Мейер Х. Песчано-ледяные жилы на крайнем севере Якутии // Криосфера Земли. 2007. Том XI. № 1. С. 62-71.

16. Дубиков Г. И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: Изд-во "Геос". 2002. 246 с.

17. Дубиков Г.И., Иванова Н.В., Зыков Ю.Д., Червинская О.П., Красовский А.Г. Засоление прибрежных отложений и их коррозионная агрессивность // Криосфера Земли. 1997. Том III. № 1. С. 43-52.

18. Каплина Т.Н., Шер А.В. Криогенное строение, условия формирования и возраст констративной аллювиальной свиты Сыпного Яра на Индигирке // Мерзлые породы и снежный покров. М.: Наука, 1977. С. 27-41.

19. Куть А.А. Эолово-мерзлотные образования (тукуланы) Центральной Якутии: строение, генезис, возраст, закономерности распространения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Ин-т мерзлотоведения СО РАН. Якутск, 2015. 22 с.

20. Лахтина О.В. Физические и химические свойства грунтов Колымской низменности // Труды ПНИИИС. Вып. 54. М., 1978. С. 13-54.

21. Опокина О.Л., Слагода Е.А., Стрелецкая И.Д., Суслова М.Ю., Томберг И.В., Ходжер Т.В. Криолитология, гидрохимия и микробиология голоценовых озерных и повторно-жильных льдов о-ва Сибирякова Карского моря // Природа шельфов и архипелагов Европейской Арктики. Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 241-247.

22. Опокина О.Л., Слагода Е.А., Томберг И.В., Суслова М.Ю., Фирсова А.Д., Ходжер Т.В., Жученко Н.А. колебания уровня моря и их отражение в составе и строении полигонально-жильных льдов в низовьях Енисея // Лёд и Снег. 2014. Том 54(2). С. 82-90. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-82-90.

23. Тихонравова Я. В., Лупачев А. В., Слагода Е. А., Рогов В. В., Кузнецова А. О., Бутаков В. И., Симонова Г. В., Таратунина Н. А., Муллануров Д. Р. Строение и формирование ледогрунтовых жил второй озёрно-аллювиальной террасы на севере Гыдана в позднем неоплейстоцене-голоцене // Лед и снег. 2019. №4. С. 557-570. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-367.

24. Brown J. Ice-wedge chemistry and related frozen ground processes, Barrow, Alaska // Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C. USA. 1966. P. 94-98.

25. Campbell-Heaton K. *Ice wedge activity in the Eureka Sound Lowlands, Canadian High Arctic*. A thesis submitted to the University of Ottawa in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science in Geography. Department of Geography, Environment and Geomatics. Faculty of Arts. CryoLab for Arctic, Antarctic and Planetary Studies (CLAAPS). University of Ottawa, 2020. 103 p.

26. Campbell-Heaton K., Lacelle D., Fisher D., Pollard W. Holocene ice wedge formation in the Eureka Sound Lowlands, high Arctic Canada // Quaternary Research. 2021. Vol. 102. P. 175-187. doi: 10.1017/qua.2020.126.

27. Douglas TA, Barker AJ, Monteath AJ, Froese DG. A local meteoric water line for interior Alaska constrains paleoclimate from 40 000 year old relict permafrost // Environmental Research Letters. 2025. Vol. 20:024029. doi: 10.1088/1748-9326/ada16b.

28. Fritz M., Opel T., Tanski G., Herzschuh U., Meyer H., Eulenburg A., Lantuit H. Dissolved

organic carbon (DOC) in Arctic ground ice // *The Cryosphere*. 2015. Vol. 9. P. 737-752. doi:10.5194/tc-9-737-2015.

29. Holland K.M. *Ice-Wedge Archives in the Northwestern Canadian Arctic*. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science. Department of Geography and Planning. University of Toronto, 2020. 85 p.

30. Holland K.M., Porter T.J., Criscitiello A.S., Froese D.G. Ion geochemistry of a coastal ice wedge in Northwestern Canada: Contributions from marine aerosols and implications for ice-wedge paleoclimate interpretations // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2023. Vol. 34(2). P. 180-193. doi:10.1002/ppp.2184.

31. Iizuka Y., Miyamoto C., Matoba S., Iwahana G., Horiuchi K., Takahashi Y., Kanna N., Suzuki K., Ohno H., Ion concentrations in ice wedges: An innovative approach to reconstruct past climate variability // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2019. Vol. 515. P. 58-66. doi:10.1016/j.epsl.2019.03.013.

32. Mackay J.R., Mathews J.V. Pleistocene ice wedges and sand wedges, Hooper Island, NWT // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1983. Vol. 20. P. 1087-1097. doi: 10.1139/e83-097

33. Murton J. Morphology and Paleoenvironmental Significance of Quaternary Sand Veins, Sand Wedges, and Composite Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Journal of Sedimentary Research*. 1996. Vol. 66(1). P. 17-25. doi: 10.1306/D4268298-2B26-11D7-8648000102C1865D.

34. Murton J.B., Bateman M.D. Syngenetic Sand Veins and Anti-Syngenetic Sand Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2007. Vol. 18. P. 33-47. doi: 10.1002/ppp.577.

35. Murton J.B., Opel T., Toms P., Blinov A., Fuchs M. et al. (2022). A multi-method dating study of ancient permafrost, Batagay megaslump, East Siberia // *Climate of the Past*. 2022. Vol. 105. P. 1-22. doi:10.1017/qua.2021.27.

36. Murton J., Opel T., Wetterich S., Ashastina K., Savvinov G., Danilov P., Boeskorov V. 2023. Batagay megaslump: A review of the permafrost deposits, Quaternary environmental history, and recent development // *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 34(3). P. 399-416. doi: 10.1002/ppp.2194.

37. O'Sullivan J.B. Geochemistry of permafrost: Barrow, Alaska // *Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana*. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C.USA. 1966. P. 30-37.

38. Park P., Ko N.-Y., Kim J.E., Opel T., Meyer H., Wetterich S., Fedorov A., Shepelev A.G., Jung H., Ahn J. A Biogeochemical Study of Greenhouse Gas Formation From Two Ice Complexes of Batagay Megaslump, East Siberia // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2024. Vol. 35(4). P. 437-449. doi:10.1002/ppp.2234.

39. Savoskul O.S. Ion content of polygonal wedge ice on Bolshoi Lyakhov: a source of palaeoenvironmental information // *Ann. Glaciol.* 1995. Vol. 21. P. 394-398. doi:10.1017/s026030550001612827.

40. Schirrmeister L., Grosse G. et al. Permafrost, periglacial and paleoenvironmental studies on New Siberian Islands // *Russian-German Cooperation System Laptev Sea. The expedition Lena 2002*. M.N. Grigoriev, V. Rachold et al. (eds.). *Berichte zur Polar- und Meeresforschung. Rep. on Polar and Marine Res.* 2003. Vol. 466. P. 195-261.

41. Vasil'chuk Yu.K., Trofimov V.T. Cryohydrochemical peculiarities of ice-wedge complexes in the north of Western Siberia // *Permafrost. Fourth International Conference, Proceedings*. Fairbanks. Alaska. National Academy Press. Washington. 1983. P. 1303-1308.

42. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Belik A.D., Bludushkina L.B., Ginzburg A.P., Krechetov P.P., Terskaya E.V. Major and trace elements, $\delta^{13}\text{C}$, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Late Pleistocene ice wedges: A case-

study of Batagay yedoma, Central Yakutia // *Applied Geochemistry*. 2020. Vol. 120. P. 104669. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104669.

43. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C. MIS 3-2 paleo-winter temperature reconstructions obtained from stable water isotope records of radiocarbon-dated ice wedges of the Batagay Ice Complex (Yana Upland, eastern Siberia) // *Radiocarbon*. 2022. Vol. 64(6). P. 1403-1417. doi: 10.1017/RDC.2022.60.

44. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A.C., Budantseva N. A., Tokarev I.V., Vasil'chuk J.Yu. Direct AMS radiocarbon age of the MIS2-3 thin composite wedges from Batagay Upper Sand // *Radiocarbon*. 2025. Vol. 67.

45. Wolfe S.A., Morse P.D., Neudorf C.M., Kokelj S.V., Lian O.B., O'Neill H.B. Contemporary sand wedge development in seasonally frozen ground and paleoenvironmental implications // *Geomorphology*. 2018. Vol. 308. P. 215-229. doi: 10.1016/j.geomorph.2018.02.015.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является оценка концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Актуальность.

Данная статья затрагивает актуальную проблему изучения концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза. Это позволит дать более полную характеристику многолетнемерзлым породам Батагайского разреза. Автор указывает, что данных аналитических исследований сложных композитных песчано-ледяных жил сравнительно немного, что делает данную работу особенно актуальной. Цель данной работы изучить состав ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил.

Методологией исследования основана на геолого-полевой разведке и отборе образцов льда для дальнейшего лабораторно-химического анализа. Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см с помощью дрелей Makita DDF481rt 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LIc стальными коронками для льда диаметром 51 мм. Для зачистки места отбора приповерхностный слой мощностью 2-3 см с поверхности композитных песчано-ледяных жил снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS. Лёд растапливался в пакетах при температуре +20°C. С помощью pH- и EC-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Затем талая вода переливалась в пластиковые флаконы ёмкостью 10 мл с плотно закрывающейся крышкой. Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил в 52 образцах проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия), предел детектирования по хлорид-иону 0,02 мг/л. Ионный хроматограф «Стайер» предназначен для качественных и количественных определений неорганических соединений F-, Cl-, NO3-, NO2-, SO42-, PO43-, Na+, NH4+, K+, Mg2+ и Ca2+ в водных растворах различного происхождения (природных, технических, питьевых).

Научная новизна заключается в том, что авторы впервые провели изучение ионного

состава композитных песчано-ледяных жил, вскрытых в Батагайском цирке в 52 образцах из песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15 что, несомненно, является достоинством данной работы.

Стиль статьи - научный, соответствует установленным требованиям журнала. Структура статьи включает в себя введение, результаты и обсуждение, заключение, библиографию. Содержание научной статьи полностью раскрывает ее тему, выводы доказательны и обоснованы. Текст написан научным языком, статья соответствует объему согласно требованиям журнала.

Библиография статьи слишком обширна и включает в себя 45 литературных источников, в том числе 22 - на иностранном языке.

Однако выводы в статье не совсем передают основную мысль автора по проведенным результатам исследований, а представляют собой некий повтор информации по результатам лабораторных анализов образцов льда.

Считаем, что выводы в статье нужно доработать и представить в виде 3-4 пунктов заключительных мыслей по результатам оценки концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на использованные литературные источники и выражении авторского мнения по изучаемой проблеме.

Рецензируемая статья несомненно будет интересна и полезна грунтоведам-практикам, студентам и аспирантам, обучающимся по направлению 1.6.7. «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение».

Данная статья заслуживает внимания научного сообщества, рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки выводов.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по мнению автора, анализ концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Методология исследования, в статье указаны как анализ состояния и расположения сингенетических композитных песчано-ледяных жил, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, который сравнительно недавно образовался в 10 км юго-восточнее пос. Батагай, в Верхоянском улусе, Республики Якутия (Саха). Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см с помощью дрелей Makita DDF481ite 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LI с стальными коронками для льда диаметром 51 мм. Снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS. С помощью pH- и EC-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил, в 52 образцах, проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия). Из анализа статьи можно сделать вывод о использовании методов оценки современной площади наледи на основе анализа космических снимков спутников за длительный период, статистического анализа, климатологический анализ с построением связей между метеорологическими

характеристиками и интенсивностью гидрологических процессов.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении информации о составе ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил. В этой связи исследования режима питания в частности и гидрологического режима в целом в зависимости от условий формирования, депонирования и таяния является важным аспектом понимания геоэкологического механизма гидрологических динамических процессов.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований и динамики ионного состава композитных песчано-ледяных жил отличающихся от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы как важное значение для понимания динамики водных ресурсов криолитозоны. Это является важным дополнением в развитии геокриологии.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим процесс картографического моделирования. Статья иллюстрирована визуализированными формами, графиками, картами и фотографиями.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты и методические рекомендации по геохимическому анализу особенности грунтов.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволившие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Камбалин И.О., Кошурников А.В., Балихин Е.И. Оптимизация параметров статистического моделирования геофизических полей в условиях криолитозоны // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. С.44-59. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.72697 EDN: PRXIQO URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72697

Оптимизация параметров статистического моделирования геофизических полей в условиях криолитозоны

Камбалин Игорь Олегович



аспирант; географический факультет; Московский Государственный Университет

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ igorkambalin@gmail.com

Кошурников Андрей Викторович



ORCID: 0000-0001-6160-7795

доктор геолого-минералогических наук

преподаватель; кафедра гляциологии и криолитологии; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

119192, Россия, г. Москва, ул. Столетова, 9, кв. 12

✉ koshurnikov@msu-geophysics.ru

Балихин Ермолай Игоревич



аспирант; геологический факультет; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1

✉ ermikus2@mail.ru

Статья из рубрики "Многолетнемерзлые породы и подземные льды Арктики, Антарктики и горных регионов"

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.72697

EDN:

PRXIQO

Дата направления статьи в редакцию:

12-12-2024

Дата публикации:

21-03-2025

Аннотация: Предметом исследования является геокриологическая обстановка участка, расположенного на окраине города Норильск, вблизи зоны шлаковых отвалов Никелевого завода. Изучаемая территория представляет собой прямоугольную область размером примерно 600 на 1000 метров. Основная задача исследования состоит в оценке пространственного распределения физических свойств мерзлых пород в пределах разреза. Разрез изучается посредством геофизических методов до глубин вплоть до пятнадцати метров, а апробация данных достигается данными скважин, достигающих в среднем до глубины пятнадцати метров, причём глубина до забоя одной скважины достигает 20 метров. Полученные данные разрозненны и имеют неоднородный характер, что создаёт необходимость применения методов интерполяции для формирования непрерывных моделей распределения геофизических параметров. Рассматриваются существующие алгоритмы интерполяции, включая трёхмерный байесовский подход с настройкой радиуса поиска, количества соседей и типа ковариационной функции. Такой подход позволяет учитывать изменчивость свойств грунтов и повышать точность пространственных моделей. Таким образом, исследование направлено на адаптацию методов интерполяции для достоверного моделирования геокриологических условий. Для анализа используются геофизические и статистические методы, реализуемые в ArcGIS Pro. Интерполяция проводится с использованием байесовского эмпирического метода, после чего полученная модель изучается на предмет достоверности. Заверка выполняется сравнением с данными бурения и геоморфологического исследования. Основные выводы исследования: разработана методика, которая объединяет данные, полученные из геофизических исследований, и методы статистической обработки для моделирования свойств мерзлых пород. Это показало, что трёхмерный подход помогает лучше описывать изменчивость среды и повышать точность моделей, что подтверждается данными бурения. Так, мощность сезонно-талого слоя по геофизическим данным подтвердилась в каждой из скважин, а изменчивость прослеживается в соответствии с геоморфологическими и литологическими особенностями территории. Произведена адаптация трёхмерного статистического метода, Байесовского кригинга 3D в частности, к условиям многолетней мерзлоты. Изучено влияние таких параметров как: тип ковариационной функции, масштаб поднаборов данных, количество соседей и радиус поиска. В рамках исследуемой территории впервые проанализирована эффективность применения эмпирического кригинга, как метода интерполяции. Полученные данные имеют прикладное значение для обоснования инфраструктурных проектов и рационального использования природных ресурсов исследуемой территории.

Ключевые слова:

Геокриологическая среда, Многолетняя мерзлота, Пространственное моделирование, Байесовский кригинг, Геофизические исследования, Интерполяция, Валидация данных, Ковариационная функция, Алгоритмы интерполяции, Норильск

Введение

Методы изучения многолетнемерзлых пород остаются актуальной проблемой в современной геофизике и геокриологии. Причиной этому, во многом, является

ограниченное количество методик, касающихся выбора параметров статистического моделирования геофизических данных в криолитозоне. В большинстве случаев такие параметры выбираются на основе эмпирических предположений, что усложняет получение обоснованных и воспроизводимых результатов. Это создаёт затруднения для исследователей, пытающихся адаптировать существующие методы или разрабатывать новые подходы для анализа и прогнозирования свойств грунтов.

Параметризация среды в криолитозоне требует понимания направлений и характера изменчивости физических свойств пород. Повторно-жильные льды создают резкий контраст свойств по латерали, а пластовые льды обуславливают изменения по вертикали. Переходы между различными типами грунтов, например, от глины к скальным породам, также вносят вертикальные контрасты. Такие свойства, как влажность, засоленность и обводнённость – оказывают значительное влияние на физические характеристики среды [\[1\]](#). Однако отсутствие единых подходов к параметризации физических свойств для вероятностного моделирования и интерполяции приводит к тому, что исследователи часто опираются на ограниченные или эмпирические данные [\[2-4\]](#). Это снижает точность моделей и затрудняет экстраполяцию полученных результатов.

В таких условиях становится необходимым создание комплексных методов, объединяющих данные геофизических исследований и продвинутые статистические модели [\[5-7\]](#). Современные технологии, включая методы трёхмерного статистического моделирования [\[8\]](#), позволяют более точно учитывать пространственную изменчивость данных. Однако успешность их применения зависит от правильного подбора параметров, что часто требует дополнительных исследований и тестирования на конкретных геологических условиях [\[9\]](#).

Исследование направлено на поиск оптимальных параметров статистического моделирования, позволяющих создать точные пространственные модели распределения физических свойств многолетнемерзлых пород на основе интеграции данных геофизики. Для этого сформулированы следующие задачи:

- 1 . Произвести обзор методов статистического моделирования, выделив наиболее универсальные подходы, кратко описать их преимущества и ограничения.
- 2 . Проанализировать влияние параметров интерполяции (радиус поиска, количество соседей, тип ковариационной функции) на качество трёхмерных моделей в сложных геологических условиях.
- 3 . Изучить методы Байесовского кригинга и адаптировать их к специфике криолитозоны с формированием рекомендаций по их применению.
- 4 . Проанализировать изменчивость физических свойств грунтов, выявив связь с геоморфологическими и литологическими особенностями.
- 5 . Выполнить валидацию созданных моделей, используя данные буровых работ и полевых наблюдений [\[10\]](#).
- 6 . Разработать алгоритмы для интеграции геофизических и буровых данных, учитывающие специфические особенности криолитозоны.

В ходе работ проведена апробация метода трёхмерного Байесовского кригинга, применяемого для интерполяции геофизических данных. Исследования выполнены на территории шлаковых отвалов никелевого завода в г. Норильск, где ранее подобный

метод не применялся. Использование метода трёхмерного Байесовского кригинга позволило выявить закономерности в пространственном распределении физических свойств многолетнемерзлых пород, а также изучить их изменчивость.

Построены 5 пространственных воксельных моделей распределения поля удельных электрических сопротивлений с различными параметрами аппроксимации. На основе этих моделей составлен комплект из 5 пространственных карт и соответствующих разрезов, в рамках которых проинтерпретированы и оконтурены мерзлые толщи, а также произведен анализ соответствия выделенных толщ фактическому керновому материалу скважин.

Обзор методов статистического моделирования

Статистическое моделирование применяется для анализа больших массивов данных, выявления закономерностей, а также прогнозирования геофизических полей. Современные математические методы и вычислительные технологии позволяют эффективно обрабатывать многомерные данные и интерполировать их в сложных геологических средах.

Методы статистического моделирования можно подразделять по характерным особенностям [11, 12]:

По типу входных данных:

- пространственные: кригинг, методы пространственной интерполяции (IDW - Inverse Distance Weighting, сплайн-функции);
- временные: анализ временных рядов;
- многомерные: кластерный анализ, регрессионные методы.

По целям анализа:

- интерполяция: кригинг, IDW, сплайны;
- классификация: Random Forest, кластерный анализ;
- регрессия: корреляционный и регрессионный анализ;
- оценка неопределенности: Bayesian Methods, Байесовский кригинг.

По алгоритмической сложности и требованиям к количеству данных для вычислений:

- простейшие: IDW, линейная регрессия;
- сложные: Gradient Boosting, Deep Learning, Байесовский кригинг.

Геофизические исследования в криолитозоне, осложненные неоднородностью среды (изменчивость структуры грунтов, вариации теплопроводности, сложные процессы замерзания-оттаивания, высокая электропроводность таликов вместе с повышенным электрическим сопротивлением льдистых пород и т.д.), наиболее интересны для статистического моделирования [Douglas, Zheng, Gruber, Jørgensen]. Это обусловлено в первую очередь большим количеством получаемых данных (в отличие от буровых), а также их неоднозначностью. То есть, полученные данные сами по себе могут описывать сразу несколько геокриологических ситуаций и для однозначной интерпретации необходимо производить дополнительные исследования.

Для геофизических исследований следует выделить следующие особенности и требования к статистическим моделям:

- геостатистические подходы должны учитывать анизотропию физико-механических свойств мерзлых грунтов [\[3, 13\]](#);
- методы прогнозирования должны адаптироваться для обработки данных с пропусками и высокой степенью шума;
- пространственная интерполяция требует учёта локальных изменений теплового поля и других параметров, не выделяя их в группу шумов.

Байесовский кригинг 3D, поставляемый в программном комплексе ArcGIS Pro, является наиболее подходящим методом для работы с геофизическими данными в криолитозоне, так как удовлетворяет вышеуказанным требованиям.

В сравнении с другими геостатистическими методами, такими как IDW, сплайны или классический кригинг, Байесовский кригинг 3D обеспечивает более точное моделирование сложных геофизических процессов засчёт учета неопределенности [\[14\]](#).

В то же время, от методов сложного машинного обучения, таких как Random Forest или Gradient Boosting, Байесовский кригинг отличается встроенными механизмами для учёта пространственной корреляции и анизотропии данных. Методы машинного обучения также могут учитывать пространственные отношения входных данных, особенно алгоритмы Deep Learning, но это требует большого объёма обучающих данных и встраивания энергозатратных модулей, расчет которых занимает больше времени.

Определение параметров построения модели методом Байесовского кригинга 3D

В ArcGIS Pro Байесовский кригинг в 3D предоставляет пользователю набор параметров, которые можно настроить для оптимизации итоговой модели. Основные настройки включают:

1. Выбор поля для учёта ошибки измерений – при измерении одного и того же параметра разным оборудованием, для которого известны ошибки измерения;
2. Модель семивариограммы, определяющей форму пространственной корреляции исходных данных:
 - power – эта модель описывает корреляцию, увеличивающуюся с расстоянием, но не достигающую порога. Полезна для данных с длинной корреляцией и постепенными изменениями;
 - linear – линейная модель предполагает пропорциональное увеличение дисперсии с расстоянием. Применяется для данных с линейной корреляцией;
 - thin Plate Spline – эта модель подходит для данных с высокой гладкостью. Часто используется для интерполяции сложных поверхностей;
 - exponential – экспоненциальная модель хорошо работает с данными, где корреляция быстро спадает с увеличением расстояния;
 - whittle – модель, которая используется для данных с более сложной пространственной структурой, включая анизотропию;

- K-Bessel – модель, применяемая для описания сложных корреляционных структур, которые включают циклические или повторяющиеся процессы.

3. Тип трансформации – позволяет учитывать наличие выбросов (значений резко отличающихся от основного массива данных) в исходных данных:

- none – используется, если исходные данные не имеют выбросов или были предварительно обработаны;

- empirical – сглаживает массив данных, если в нём присутствуют выбросы;

- log empirical – логарифмическое эмпирическое преобразование подходит для данных с широким диапазоном значений, позволяя избежать излишнего сглаживания;

- subset size – устанавливает размер подвыборки (локальной модели) данных, используемой для расчёта локальных параметров интерполяции. Увеличение размера подвыборки уменьшает количество подвыборок, что может повысить устойчивость модели, так как большее количество точек снижает влияние выбросов и шума. Однако это может сгладить локальные вариации. Уменьшение Subset Size делает модель более адаптивной к локальным особенностям, но увеличивает её чувствительность к шуму и нестабильность. Однако уменьшение размера подвыборки приводит к увеличению количества таких подвыборок, что может увеличить время вычислений.

4. Local model area overlap factor – определяет степень перекрытия между подвыборками. Каждая точка данных может попадать в несколько подвыборок. Более высокие значения overlap factor создают более сглаженную выходную поверхность, так как каждая точка обрабатывается несколько раз. Однако увеличение overlap factor приводит к росту времени вычислений. Значения параметра должны быть в пределах от 1 до 5. Реальное перекрытие обычно больше указанного значения, чтобы обеспечить одинаковое количество точек для каждой локальной модели.

5. Number of simulated semivariograms – количество семивариограмм строящихся для каждой локальной модели. Чем больше это число, тем более стабильной будет модель, однако это значительно увеличивает время расчета. Подбор этого параметра в первую очередь зависит от зашумленности данных и обычно хватает от 100 до 500 симуляций. Для того чтобы проверить, достаточно ли выбранное количество, можно в построенной модели оценить ошибку предсказания. Так, если дисперсия исходных данных больше среднеквадратичной ошибки модели на порядок, то часто можно считать модель верной.

6. Order of trend removal – позволяет удалить тренд изменения значений по вертикали. Такая операция часто требуется, если измерения по вертикали производятся значительно более часто, чем по горизонтали, а значит, тренды оказывают большее влияние на общее сглаживание модели по вертикали. Для анализа именно локальных изменений, такого рода тренды можно удалить, что позволит получить большую вариативность значений по вертикали:

- none – тренд не удаляется, этот параметр используется по умолчанию;

- first order – удаляет линейный тренд первого порядка в вертикальном направлении, что позволяет стабилизировать расчёты и уменьшить влияние сильных вертикальных изменений значений. Такой подход полезен для данных, которые изменяются по вертикали быстрее, чем по горизонтали.

7. Elevation inflation factor – определяет масштабирование значений в вертикальном

направлении перед расчётом модели и интерполяцией. Этот параметр корректирует разницу в изменчивости значений по вертикали и горизонтали, делая один единичный шаг по высоте эквивалентным одному шагу по горизонтали. Более высокие значения параметра усиливают влияние вертикальной структуры данных, что стабилизирует расчёты и улучшает точность интерполяции. Значение по умолчанию рассчитывается автоматически с использованием метода максимального правдоподобия и обычно находится в диапазоне от 1 до 1000. Пользователь может задать собственное значение для уточнения модели на основе кросс-валидации.

8. Search neighborhood – определяет параметры поиска соседей для интерполяции. У этого параметра есть ряд настроек, которые также следует рассмотреть:

- max neighbors – максимальное количество соседних точек, используемых для расчёта значений. Увеличение этого параметра повышает устойчивость, но может сгладить локальные детали;
- min neighbors – минимальное количество соседей, необходимое для выполнения расчёта. Низкие значения повышают гибкость модели, но могут ухудшить стабильность в разреженных данных.

Sector type: Делит пространство вокруг точки на секторы (платоновы тела):

- 1) 1 Sector (Sphere): Все ближайшие соседи из любого направления. Простое решение для равномерных данных.
- 2) 4 Sectors (Tetrahedron): Деление на четыре сектора.
- 3) 6 Sectors (Cube): Деление на шесть регионов.
- 4) 8 Sectors (Octahedron): Деление пространства на восемь секторов.
- 5) 12 Sectors (Dodecahedron): Деление на 12 секторов для равномерного покрытия пространства.
- 6) 20 Sectors (Icosahedron): Деление на 20 секторов для более детализированного поиска соседей.

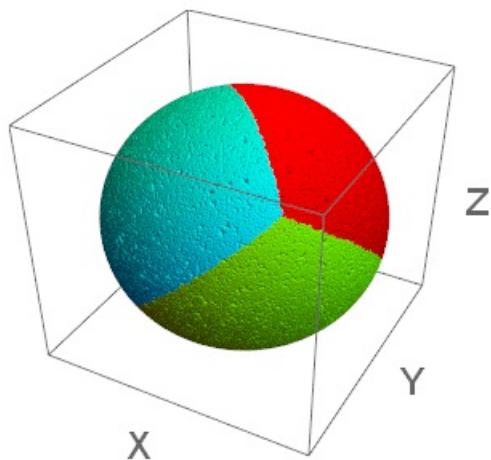


Рис. 1. Пример деления области поиска на 4 сектора [Esri. 3D Search Neighborhoods. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/3d-search-neighborhoods.htm> (дата обращения: 10.12.2024)]

Во время настройки самой модели можно выбрать то, как будут обрабатываться точки с

совпадающими координатами, что может быть полезно в случае проведения двойного измерения для проверки получаемых данных. В настройке среды *Coincident Points* можно выставить следующие параметры:

- *mean of values at coincident locations* (по умолчанию) – для всех совпадающих точек на одном местоположении вычисляется среднее значение;
- *exclude all coincident data* – полностью исключает все совпадающие точки из анализа;
- *minimum value at coincident locations* – использует минимальное значение из всех совпадающих точек на данном местоположении;
- *include all coincident data* – все данные на совпадающих точках включаются в анализ без усреднения или исключения.

Подбор параметров для Байесовского кригинга 3D на примере данных частотного зондирования

Для отработки метода подбора данных используются данные об удельном электрическом сопротивлении, полученные методом частотного зондирования на полигоне близ террикона шлаковых отвалов города Норильск (рис. 2). Данные включают в себя 11 профилей, расстояние между которыми 100 метров, а частота съемки по профилю – каждые 2 метра. Суммарное количество точек – 69 076. В ходе обработки данных каждой точке были назначены координаты XY по встроенному в оборудование GPS трекеру, а координата Z назначалась как разница интегральной глубины замера и высоты точки на цифровой модели рельефа. Цифровая модель строилась по заранее классифицированным точкам, с исключением точек высокой и низкой растительности, а также водоёмов.



Рис. 2. Контур участка изысканий

В пределах исследуемой территории распространены повторно-жильные льды, преимущественный состав отложений представлен тундровыми глеево-торфянистыми и торфяными (глееземы торфянистые и торфяные тундровые) почвами, залегающими на глинистых и тяжелосуглинистых щебнистых породах [15, 16].

На полигоне проведены исследования, направленные на картирование техногенного загрязнения металлическими частицами, сдуваемыми с террикона и переотлагающимися на участке [9].

Для того, чтобы построить пространственную модель распределения удельного электрического сопротивления, сформируем требования к искомой модели с учётом имеющихся данных о среде:

1. Измеряемые данные, исходя из знаний о среде и предварительному анализу точек на этапе камеральной обработки, подвержены значительной анизотропии свойств. Это объясняется в первую очередь тем, что электрическое сопротивление зависит как от литологического состава (и наличия металлического загрязнения), так и от фазового состояния воды в грунте. Если первое имеет наибольшую изменчивость по латерали, то второе обладает наибольшей изменчивостью с глубиной. Необходимо выбрать для моделирования тип вариограмм, подходящий для данных с выраженной анизотропией, а именно – Whittle.

2. Присутствует достаточно большое количество значений значительно превышающих по модулю средне взвешенное значение, что говорит о необходимости выбора типа трансформации не None.

3. Данные расположены достаточно близко друг к другу в пределах профиля, но не между профилями, и сеть не является равномерной. Примем значение масштабирования высот (Elevation Inflation Factor) равным 10, что отражает отношение расстояния между профилями к глубинности метода. В то же время, радиус поиска соседей необходимо взять больший, чем расстояние между профилями в 1-1.5 раза.

4. Данные не являются однородными во всех направлениях из-за неизометричной сети. Для учёта этого факта следует взять Sector type не меньший чем Cube (более 4 секторов).

Подбор количества минимальных и максимальных соседей, а также количества симуляций будем производить из эмпирических соображений, а также мощности имеющегося вычислительного оборудования.

Таким образом созданы 5 моделей, позволяющие наглядно оценить разницу применения различных параметров (табл. 1, 2).

Таблица 1

Параметр	Номер модели				
	1	2	3	4	5
Transformation Type	None	Empirical	Log Empirical	Log Empirical	Log Empirical
Semivariogram Model Type	Whittle	Whittle	Exponential	Whittle	Whittle
Subset Size	100	100	100	70	70
Overlap Factor	3	4	4	5	5
Number of Simulations	200	400	500	400	400
Elevation Inflation Factor	9,24	10	10	10	10
Trend Type	Const	First	First	First	First

Sector Type	12 sectors	4 sectors	6 sectors	8 sectors	24 sectors
Radius (Major semiaxis)	100	200	150	150	150
Neighbours to include	10	10	15	10	10
Include at least	3	2	3	3	3

Таблица 2

Показатель	Номер модели				
	1	2	3	4	5
Average CRPS	24,08	20,63	21,56	21,08	21,50
Inside 90 Percent Interval	96,20	92,28	93,52	93,23	93,54
Inside 95 Percent Interval	97,97	96,26	96,67	96,59	96,81
Mean	0,87	0,88	-2,09	-1,30	-1,14
Root-Mean-Square	126,63	123,86	124,84	123,67	124,87
Mean Standardized	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02
Root-Mean-Square Standardized	0,72	1,00	1,04	1,01	1,01
Average Standard Error	132,44	88,42	65,86	72,38	70,78

На основе полученных 3D воксельных моделей распределения полей удельного электрического сопротивления создан комплект карт и разрезов (рис. 3-7), на которых полученные поля проинтерпретированы и апробированы при помощи заверочных буровых работ. На представленных ниже изображениях показаны результаты трёхмерного статистического моделирования распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород с использованием различных параметров Байесовского кригинга.

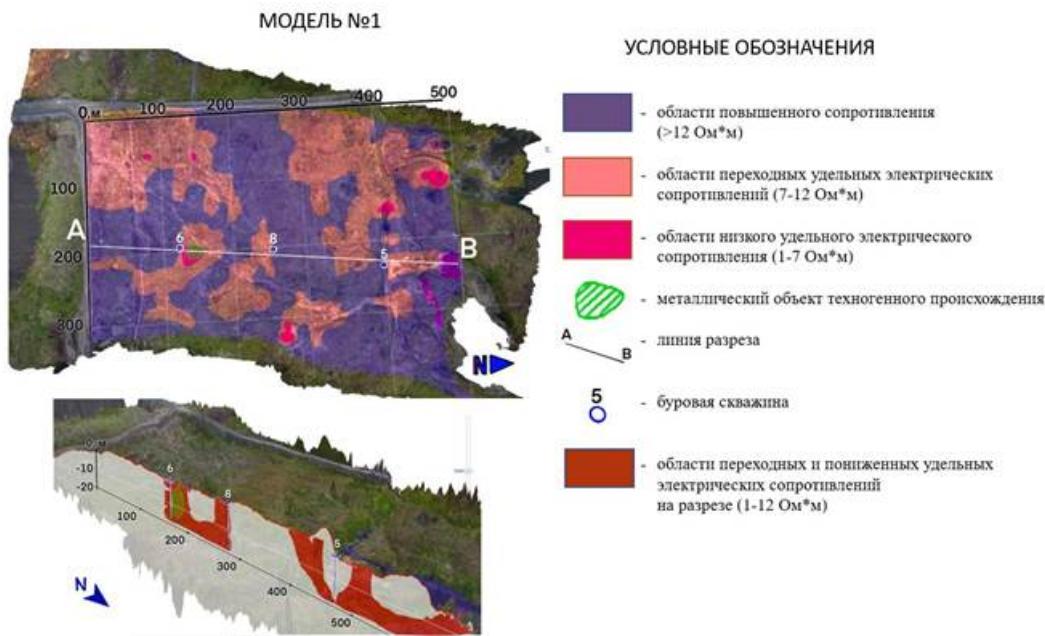


Рисунок 3. Модель (№1) распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород. Карта и разрез

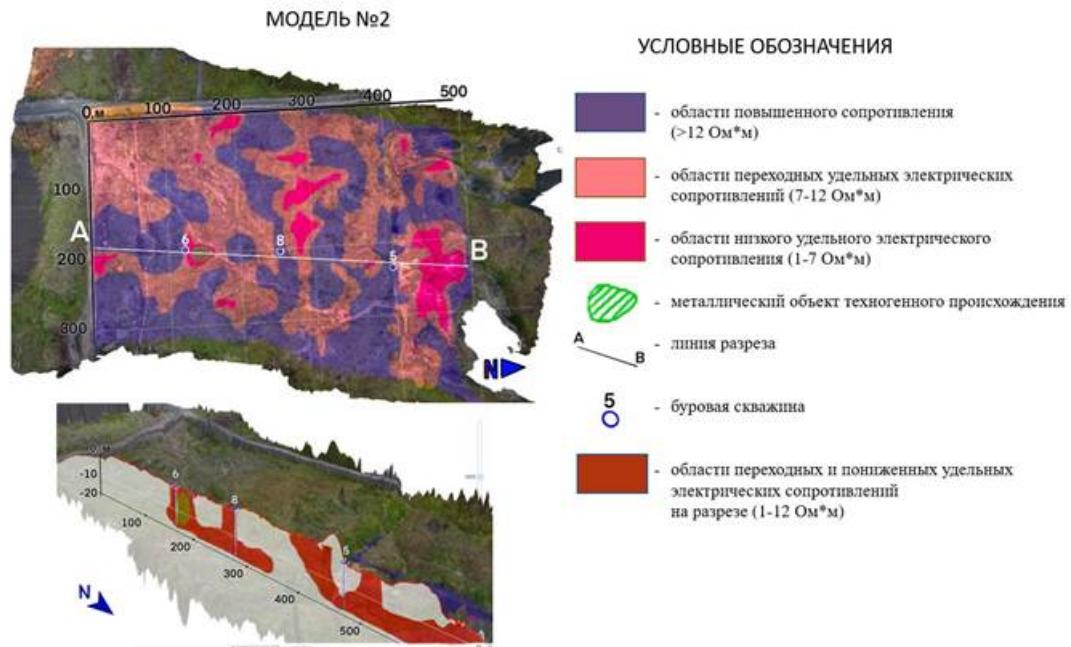


Рисунок 4. Модель (№2) распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород. Карта и разрез

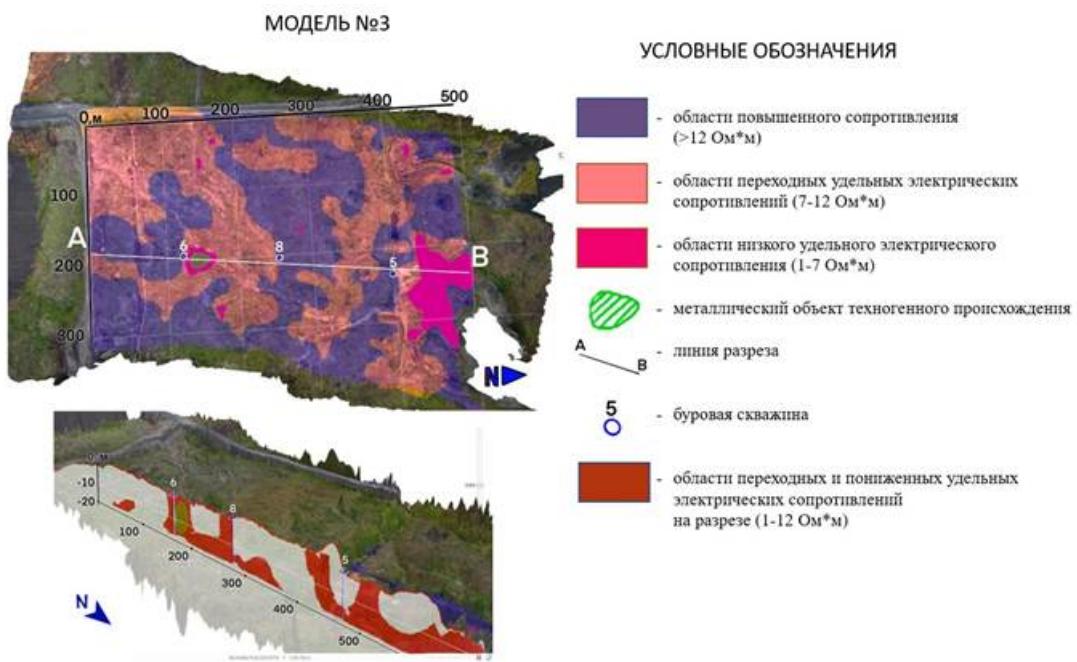


Рисунок 5. Модель (№3) распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород. Карта и разрез

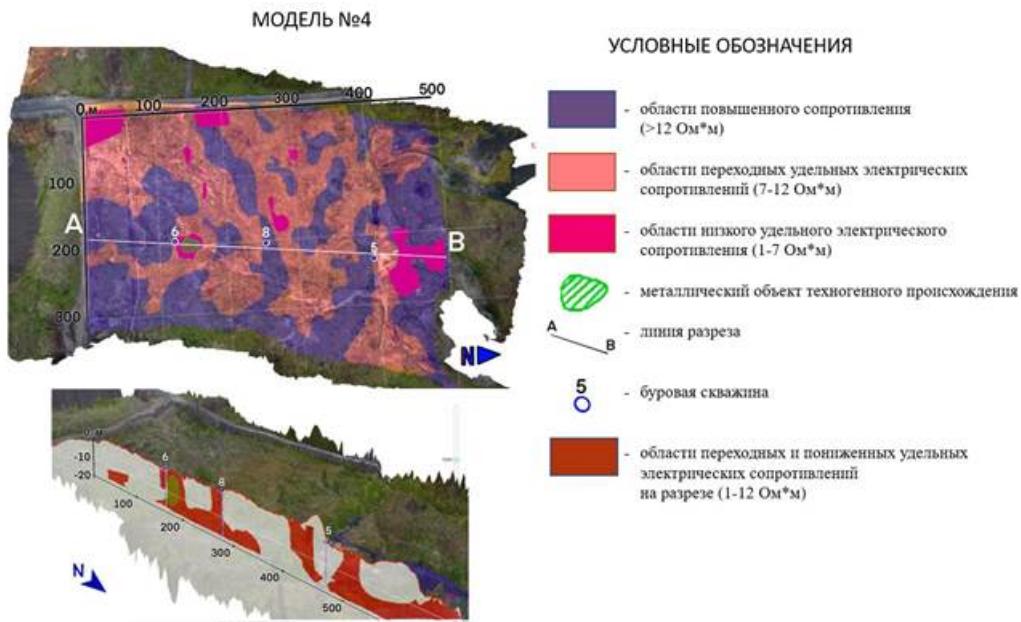


Рисунок 6. Модель (№4) распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород. Карта и разрез

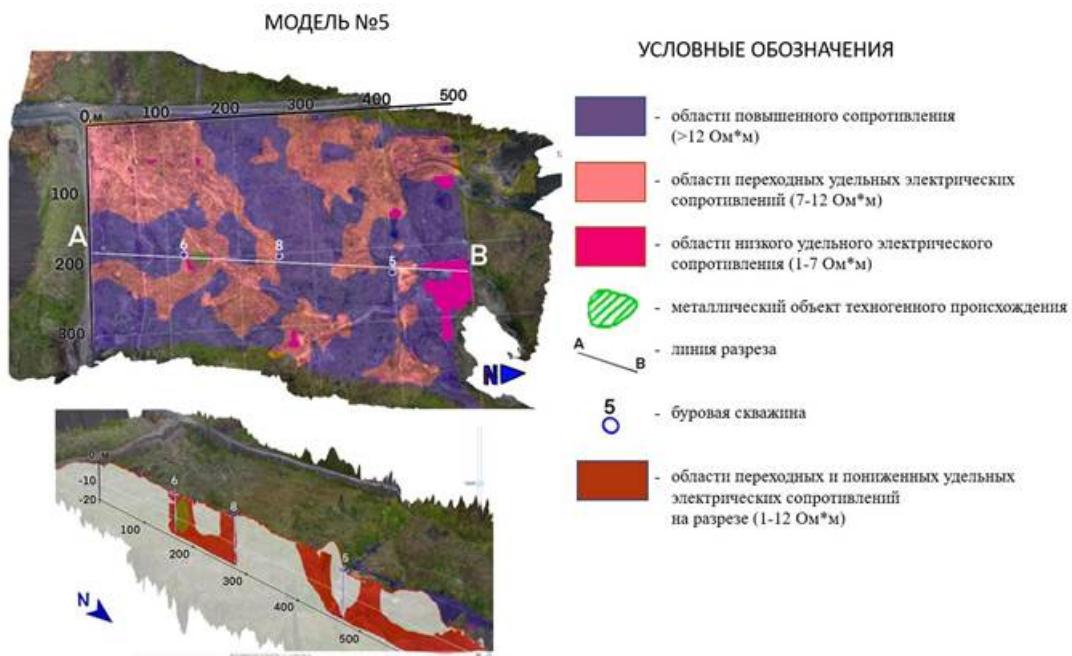


Рисунок 7. Модель (№5) распределения геоэлектрических свойств многолетнемерзлых пород. Карта и разрез

Рассмотрим полученные результаты подробнее, сравнивая различные варианты моделей и их соответствие фактическим данным бурения по скважинам №5, 6 и 8.

Скважина №5 расположена на северном склоне естественного возвышения, что обеспечивает стабильное промерзание пород. В керне представлены лёгкие суглинки и тяжелая супесь с массивной криоструктурой, обусловливающие высокое электрическое сопротивление.

Модели №4 и №1 не обнаруживают талых пород до глубин 20 метров, хоть и позволяют судить о некотором понижении сопротивления в окрестностях.

Модели №5 и №2 хоть и отражают положение талой толщи достаточно близко к

действительности – являются недостаточно достоверными. У модели №2 значения по мощности талого слоя оказались завышенными, и кровля талой толщи обнаружена на 0,4 м выше, чем в действительности. А в модели №5 границы получились сглаженными и отражающими более не естественное состояние среды, но переходы между отдельными областями.

Модель №3, в свою очередь, наиболее точно соответствует фактическим данным керна, показывая талый слой уже на глубине около 17,5 м, подтверждая высокую точность экспоненциальной семивариограммы и адекватность параметров поиска соседей (15 точек, 6 секторов). Более того, характер распределения поля в окрестностях скважины №5 более четко отображен именно в рамках модели №3, отражая структуру согласованную с экспозиционными условиями.

Среда в пределах скважины №8 также характеризуется устойчиво высоким сопротивлением почти на всей глубине, обусловленным наличием мерзлых легких суглинков и супесей. Однако, вследствие меньшей льдистости, контрастность среды около этой скважины ниже, чем около скважины №5. Ни одна из моделей не может демонстрировать абсолютную точность в полученных результатах. Однако, наиболее приближенно к действительности получилось оконтурить границу талого слоя в рамках модели №3 на глубине 18,4 м, что лишь немного не соответствует фактическому положению границы (18,7 м). Остальные модели демонстрируют либо заниженные значения – модель №1, либо завышенные – модели №4 и 2, отражая границу на глубине всего 16,0-16,5 м. Модель №5 галлюцинировала возникновение высокоомного слоя под мерзлым на глубинах 18,0-20,0 м.

Скважина №6 демонстрирует противоположную картину с преобладанием низкоомных пород, что не подтверждается бурением, выявившим здесь лёгкие суглинки с неполносетчатой криоструктурой.

При дальнейшем анализе выявлено, что бурый окрас отложений, и аномально низкое удельное электрическое сопротивление, говорит о захоронении в этом месте металлических отходов. Данная особенность чётко зафиксирована всеми моделями, однако модель №3 снова демонстрирует наиболее детальное и структурированное отображение низкоомного слоя, что важно для оценки масштабов загрязнения.

Преимущества использования модели №3:

1. Высокая точность отображения подошвы мерзлых пород и наличия талых слоев, подтверждаемая керновыми данными.
2. Хорошее соответствие фактическим наблюдениям по границам зон различной омности.
3. Устойчивость к влиянию шума и локальных аномалий.

Недостатки остальных моделей:

1. Модель №1 демонстрирует слабое соответствие фактическим данным в зонах резких границ.
2. Модели №2 и №4 менее детализированы и часто сглаживают важные детали.
3. Модель №5, несмотря на высокую детализацию, показывает повышенную чувствительность к шумам и нестабильность в отражении мелкомасштабных аномалий.

Таким образом, оптимальным выбором для проведения статистического моделирования в

данных условиях является модель №3 с экспоненциальной семивариограммой, логарифмической эмпирической трансформацией и умеренным числом секторов. Подтвержденные керновыми наблюдениями результаты позволяют рекомендовать эту модель для аналогичных исследований на территории криолитозоны.

Более того, применение метода подбора параметров моделирования исходя из особенностей геокриологического строения действительно позволяет добиться наиболее точных результатов при моделировании, а неправильный выбор, обусловленный недостаточным изучением среды приводит к ошибкам, которые, потенциально, могут пагубно отразиться в ходе инженерно-геологических работ на территории [\[17, 18\]](#).

Библиография

1. Акимов А. Т., Клишес Т. М., Мельников В. П., Снегирев А. М. Электромагнитные методы исследований криолитозоны / Под ред. В. Д. Бадалова. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1988. 48 с.
2. Ельцов И. Н., Оленченко В. В., Фаге А. Н. Электротомография в Российской Арктике по данным полевых исследований и трехмерного численного моделирования // Neftegaz.RU. 2017. № 2. С. 54-64.
3. Ершов Э. Д. Общая геокриология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 682 с.
4. Судакова М. С., Брушков А. В., Великин С. А., Владов М. Л., Зыков Ю. Д., Неклюдов В. В., Оленченко В. В., Пушкирев П. Ю., Садуртдинов М. Р., Скворцов А. Г., Царев А. М. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2022. № 6.
5. Шестернев Д. М., Омельяненко П. А. Повышение эффективности реализации инженерно-геофизических методов при исследовании грунтов криолитозоны // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. № 5. С. 1184-1196.
6. Костицын В. И., Хмелевской В. К. Геофизика: учебник; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. 428 с.
7. Herring T., Lewkowicz A. G., Hauck C., et al. Best practices for using electrical resistivity tomography to investigate permafrost // Permafrost and Periglacial Processes. 2023. No. 34(4). Pp. 494-512.
8. Яицкая Н. А., Бригда В. С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных // Геология и геофизика Юга России. 2022. № 12(1). С. 162-173.
9. Камбалин И.О., Кошурников А.В., Балихин Е.И. Роль цифровых моделей рельефа для увеличения точности геофизических исследований техногенного металлического загрязнения в условиях криолитозоны (На примере Норильского полигона) // Арктика и Антарктика. 2024. № 4. С. 13-23. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.71872 EDN: NKJSBV URL: https://nbppublish.com/library_read_article.php?id=71872
10. Douglas T. A., Hiemstra C. A., Anderson J. E., et al. Recent degradation of interior Alaska permafrost mapped with ground surveys, geophysics, deep drilling, and repeat airborne lidar // The Cryosphere. 2021. No. 15(8). Pp. 3555-3571.
11. Долгаль А. С., Муравина О. М., Аузин А. А., Пономаренко И. А., Груздев В. Н. Сфера применения современных статистических методов обработки геофизической информации // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 4. С. 79-84.
12. Осипов В. В. Анализ методов создания цифровых моделей поверхностей // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 1. Ч. 2.: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса "ГЕО-Сибирь-2011", 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. Новосибирск: СГГА, 2011. С. 82-86.
13. Vegter S., Bonnaventure P. P., Daly S., Kochtitzky W. Modelling permafrost distribution using the temperature at top of permafrost (TTOP) model in the boreal forest environment

of Whatì // NT. Arctic Science. 2024. No. 10(3). Pp. 455-475.

14. Treat C. C., Virkkala A.-M., Burke E., Bruhwiler L., Chatterjee A., Hayes D. J., et al. Permafrost carbon: progress on understanding stocks and fluxes across northern terrestrial ecosystems // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2024. No. 129(2).

15. Карта четвертичных отложений: R-45 (Норильск). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Норильская серия. Карта четвертичных образований, масштаб: 1:1000000 / ред. В. А. Радько. М.: ФГБУ "ВСЕГЕИ", 2016.

16. 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.

17. Jorgenson M. T., Grosse G. Remote sensing of landscape change in permafrost regions: progress, challenges, and opportunities // Permafrost and Periglacial Processes. 2022. No. 33(4). Pp. 429-447.

18. Overduin P. P., Wegner C., Kassens H., et al. Subsea permafrost dynamics and coastline retreat in the Arctic shelf: statistical modeling of observations // Geosciences. 2021. No. 11(12). Pp. 505.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является оптимизация параметров статистического моделирования геофизических полей в условиях криолитозоны.

Актуальность исследования очевидна, поскольку автор верно утверждает, что «методы изучения многолетнемерзлых пород остаются актуальной проблемой в современной геофизике и геокриологии. Причиной этому, во многом, является ограниченное количество методик, касающихся выбора параметров статистического моделирования геофизических данных в криолитозоне. В большинстве случаев такие параметры выбираются на основе эмпирических предположений, что усложняет получение обоснованных и воспроизводимых результатов. Это создаёт затруднения для исследователей, пытающихся адаптировать существующие методы или разрабатывать новые подходы для анализа и прогнозирования свойств грунтов. В таких условиях становится необходимым создание комплексных методов, объединяющих данные геофизических исследований и продвинутые статистические модели. Поэтому исследование автора направлено на поиск оптимальных параметров статистического моделирования, позволяющих создать точные пространственные модели распределения физических свойств многолетнемерзлых пород на основе интеграции данных геофизики. Методология исследования основана на методах статистического моделирования, методы Байесовского кригинга и адаптация их к специфике криолитозоны, методы пространственной интерполяции (IDW - Inverse Distance Weighting, сплайн-функции), Random Forest, кластерный анализ, корреляционный и регрессионный анализ, алгоритмы для интеграции геофизических и буровых данных.

Научная новизна заключается в том, что исследования выполнены на территории шлаковых отвалов никелевого завода в г. Норильск, где ранее подобный метод не применялся. В результате изучения построены 5 пространственных воксельных моделей распределения поля удельных электрических сопротивлений с различными параметрами аппроксимации, составлен комплект из 5 пространственных карт и соответствующих разрезов, в рамках которых проинтерпретированы и оконтурены мерзлые толщи.

Стиль статьи – научный. Статья очень информативная, снабжена табличным и иллюстративным материалом, что придает ей значимое преимущество. Однако, структура статьи не совсем соответствует установленным требованиям журнала, поэтому рекомендуется в ней выделить разделы «Результаты исследований» и «Выводы». По своему объему и библиографии статья соответствует требованиям журнала. В некоторых предложениях имеются технические опечатки (например, в последнем абзаце перед разделом «Обзор методов статистического моделирования» слова «соответствующих» и «проинтерпретированы» следует писать как «соответствующих» и «проинтерпретированы»).

Библиография статьи включает в себя 18 литературных источников, 6 из которых – на иностранном языке.

Выводы в статье лаконичны и передают основную мысль автора по проведенным результатам исследований. Автор приходит к выводу, что оптимальным выбором для проведения статистического моделирования в данных условиях является модель №3 с экспоненциальной семивариограммой, логарифмической эмпирической трансформацией и умеренным числом секторов. Подтвержденные керновыми наблюдениями результаты позволяют рекомендовать эту модель для аналогичных исследований на территории криолитозоны.

Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на использованные литературные источники и выражении авторского мнения по изучаемой проблеме. Рецензируемая статья несомненно будет интересна, полезна ученым и практикам грунтоведам и мерзлотоведам, поскольку применение метода подбора параметров моделирования исходя из особенностей геокриологического строения действительно позволяет добиться наиболее точных результатов при моделировании, а неправильный выбор, обусловленный недостаточным изучением среды приводит к ошибкам, которые, потенциально, могут пагубно отразиться в ходе инженерно-геологических работ на территории.

Данная статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после незначительной доработки.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Гинзбург А.П., Лупачев А.В. Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.72689 EDN: QXWIQK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72689

Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена

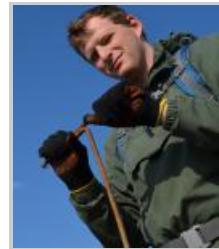
Гинзбург Александр Павлович

ORCID: 0009-0006-0424-547X

аспирант; лаборатория криологии почв; ФИЦ "Пущинский научный центр биологических исследований РАН"

142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2/2, оф. 23

✉ alexandrgiznburg13154@yandex.ru



Лупачев Алексей Владимирович

ORCID: 0000-0003-0116-8828

кандидат биологических наук

Старший научный сотрудник; Лаборатория криологии почв; ФИЦ "Пущинский научный центр биологических исследований" РАН

142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2/2, оф. 23

✉ a.lupachev@gmail.com

Статья из рубрики "Почвы холодных равнинных и горных регионов"**DOI:**

10.7256/2453-8922.2025.1.72689

EDN:

QXWIQK

Дата направления статьи в редакцию:

12-12-2024

Аннотация: Архипелаг Шпицберген – территория с уникальным ландшафтно-геологическим и биологическим разнообразием, которое находится под угрозой

деградации вследствие природной динамики температур воздуха и сокращения площади и мощности многолетнемерзлых пород. Кроме того, в настоящее время на Шпицбергене продолжается добыча полезных ископаемых (каменного угля, руд цветных металлов, углеводородов), а также из года в год возрастает объем туристического потока. Эти причины неминуемо приводят к активизации процессов трансформации местных арктических экосистем. Летом 2024 г. проведены полевые исследования почв и природных вод криогенных ландшафтов приморских низменностей на острове Западный Шпицберген в районах залива Грён-Фьорд (пос. Баренцбург) и бухты Колсбей (полярная станция Колсбей). Описаны 19 профилей почв, отнесённых к 8 различным типам. Почвы описывались в ходе полевых работ по классификации и диагностике почв России 2008 г. Заложение разрезов почв проводилось по ландшафтно-геохимическому (катенарному) принципу. В структуре почвенного покрова возвышенных геоморфологических уровней – I и II морских террас (в т.ч. частично перекрытых делювиальными шлейфами) доминируют криозёмы глееватые и петрозёмы гумусовые. Поверхность почв на этих уровнях осложнена нанополигональным криогенным микрорельефом. Почвенное разнообразие более низких геоморфологических уровней – речных пойм и низменных морских (периодически затапливаемых) аккумулятивных берегов, – представлено пелозёмы и петрозёмы, а также сульфидными солончаками, формирующимиися в условиях близкого к поверхности залегания плотных пород и активного воздействия морских вод. Большая часть исследованных природных вод характеризуются невысокими значениями окислительно-восстановительного потенциала 100-250 мВ, а значения их кислотности варьируют в широких пределах от 6,5 до 9,5. Торфяно-глеевозёмы, развивающиеся на низменностях при периодическом затоплении морскими водами, характеризуются наиболее щелочной реакцией среды и сочетанием отрицательных значений окислительно-восстановительного потенциала (до -3 мВ) с высокой минерализацией (в пределах 3-5 г/л). Почвы этих ландшафтов являются наиболее перспективными для изучения латеральной миграции веществ в катенах приморских криогенных ландшафтов Шпицбергена, поскольку здесь могут формироваться контрастные латеральные геохимические барьеры.

Ключевые слова:

Многолетнемерзлые породы, Криогенные процессы, Криозем, Литозем, Петрозем, Погребенные почвы, Геохимия природных вод, Кислотность, Минерализация, Окислительно-восстановительный потенциал

Работа выполнена в рамках Государственного задания (ГЗ) № 123071700018-6 (ИФХиБПП РАН) по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на период 2021 – 2030 гг. по теме «Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли: ископаемые почвы девона и современный почвенно-мерзлотный комплекс архипелага Шпицберген»

Введение

Территория архипелага Шпицберген – один из немногих регионов европейского сектора Арктики, где многолетнемёрзлые породы (ММП) распространены не только в высокогорьях, но и на низменных прибрежных участках, в наибольшей степени занятых растительностью и подверженных антропогенному воздействию [1]. Эти ландшафты занимают здесь до 70% площади внеледниковых пространств [2-3]. ММП образовались

здесь в третичном периоде [4] и в настоящий момент, наряду с широко распространёнными криогенными процессами, являются важным фактором формирования и функционирования почвенного покрова ландшафтов [5]. В связи с этим, современная динамика развития криолитозоны в регионе, прежде всего – увеличение мощности деятельного слоя на фоне повышения среднегодовых температур воздуха [6-7], может в значительной мере отразиться на почвах прибрежно-морских криогенных экосистем Шпицбергена.

Современный почвенный покров Шпицбергена изучался российскими [8-13] и зарубежными специалистами [14-18]. Значительная часть почв в условиях гористой местности является высоко литогенной, бедной мелкоземом, слабозадернованной, подстилается на небольшой глубине скальным основанием и часто характеризуется отсутствием льдистой мерзлоты в профиле. Данные факторы обуславливают относительно невысокое разнообразие почвенно-растительного покрова в этих геоморфологических условиях. Береговая линия морей и прилегающие к ней участки суши, напротив, являются одними из наиболее сложно организованных, геохимически активных, динамично развивающихся и уязвимых компонентов экосистем [19], в т.ч. на Шпицбергене. Проникновение морских вод вглубь суши при нагонно-приливных явлениях, формирование зоны осушки при стоковых ветрах, привнос аллохтонного органического и минерального вещества, засоление почвенных профилей и растепление верхних горизонтов мерзлоты, в сочетании с широким набором почвенных и криогенных процессов в условиях близкого залегания многолетнемерзлых пород оказывают масштабное влияние на формирование уникальных и разнообразных комплексов криогенных почв и подстилающей многолетней мерзлоты [20-21].

Криогенные почвы и подстилающие их верхние горизонты многолетнемерзлых пород (почвенно-мерзлотные комплексы – ПМК [22]) являются важнейшим элементом функционирования полярных биомов в районах с близким (около 1 м) залеганием ММП. Строение, свойства и функционирование почвенного покрова и мерзлотная обстановка во многом определяют геохимические особенности полярных ландшафтов в отношении мобилизации, транзита и аккумуляции различных элементов и соединений, способных к миграции в почвенных профилях: их перераспределению за счет процессов почвообразования и криогенного массообмена, дальнейшей горизонтальной миграции по поверхности мерзлотного водоупора с надмерзлотным стоком, проникновению и криоконсервации в толще верхних слоев ММП, вынос в поверхностные водоемы и прибрежную морскую акваторию. В условиях современных климатических изменений строение структурных элементов ПМК и их взаимосвязь претерпевают существенные изменения: в современный биогеохимический круговорот вовлекаются ранее мерзлые переходный и промежуточный слои ММП [23]; процессы почвообразования трансформируются с изменением биоклиматических параметров среды и проникают на большую глубину; относительно более мощный деятельный слой включается в зону биологической активности и т.п.

Особый интерес в этом отношении представляет изучение ПМК регионов с высокотемпературными, динамичными ММП, таких как Западный Шпицберген. Основная цель работы заключается в предварительной характеристике почвенно-геоморфологического строения прибрежно-морских ландшафтов и изучении пространственного распределения некоторых физико-химических свойств почв и природных вод, а также криолитологических свойств верхних горизонтов ММП элементарных геохимических ландшафтов Западного Шпицбергена. Представлены

первые результаты морфологических и физико-химических исследований почв и подстилающих ММП в ходе полевых работ в конце июля 2024 г. на о. Западный Шпицберген в районе п. Баренцбург (залив Грён-Фьорд и бухта Колсбей).

Объекты и методы исследований

Объекты. Исследования проводились на двух ключевых участках – побережье залива Грён-Фьорд в районе п. Баренцбург (рис. 1) и побережье бухты Колсбей в заливе Ис-Фьорд вблизи одноимённой полярной станции (п/с). На приморских низменностях берегов залива Грён-Фьорд в различных ландшафтно-геоморфологических и геокриологических условиях было заложено 12 почвенных разрезов, в районе п/с Колсбей – 4 разреза.

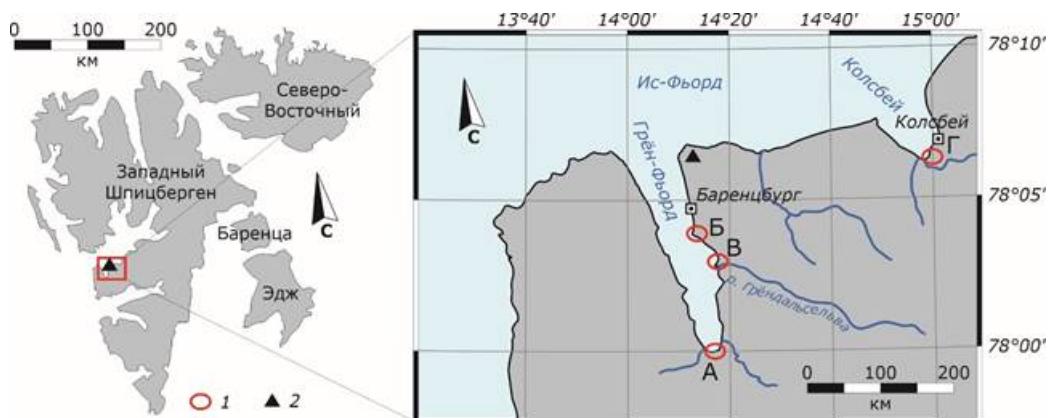


Рис. 1. Территория исследования (а) и ключевые участки на ней (б). 1 – ключевые участки исследования: южный берег зал. Грён-Фьорд (А), м. Финнисет (Б), дельта р. Грёндальсельва (В), берег бух. Колсбей (Г). 2 – криосферный полигон Российской научного центра на арх. Шпицберген.

Физико-географические условия архипелага Шпицберген

Климат. Среднегодовая температура воздуха в Баренцбурге равна $-3,8^{\circ}\text{C}$. Безморозный период продолжается около 100 дней, вегетационный период – 40-70 дней. Сумма температур $>10^{\circ}\text{C}$ не превышает $400-450^{\circ}\text{C}$. За год выпадает до 565 мм осадков [24]. Зимой устанавливается снежный покров мощностью 1,5-2 м и плотностью 350-500 кг/м³ [25].

Четвертичные отложения и современный рельеф. Толща рыхлых четвертичных отложений Шпицбергена имеет мощность 50-60 м. Она представлена фрагментарно в тектонических и эрозионных понижениях и на приморских низменностях [26-27]. Литогенную основу прибрежно-морских ландшафтов составляют морские и ледниково-морские отложения верхнеплейстоценового и голоценового возрастов [27]. Около 12-10 тыс. лет назад имела место мощная морская трансгрессия, уровень моря превышал современный на 40-65 м. Вследствие этого морские отложения очень широко распространены в низменностях [28]. Около 60% территории занято горными и горно-долинными ледниками общей площадью 35 528 км². Ледниковые экзарация и аккумуляция активно преобразуют рельеф, перемещая и отлагая большие объемы пород [29]. Южное побережье зал. Ис-Фьорд, включая зал. Грён-Фьорд и бух. Колсбей – территория с самой активной дегляциацией в пределах всего архипелага: суммарная площадь ледников не превышает 10 км², а потеря площади ледников достигает 0,7-1%/год [30].

Геокриологические условия. Средняя мощность криолитозоны достигает 300 м [31]. Распространение ММП характеризуется как сплошное [3, 32-33], но на приморских низменностях, и в крупных речных долинах ММП несплошные и прерывистые [34]. На глубине нулевых сезонных амплитуд (около 20 м [35]), температуры варьируют от -5 до -2 °С [36]. На криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (КП РНЦШ, рис. 1) на глубине 15 м среднегодовая температура ММП за 2015-2016 гг. составила -2,37°С [37]. Мощности сезонноталого слоя (СТС) на площадках CALM о. Западный Шпицберген варьируют от 60-70 до более чем 250 см [38]. На КП РНЦШ мощность СТС составляет 110-260 см.

Растительный покров. Благодаря отепляющему влиянию Северо-Атлантического течения, флора Шпицбергена достаточно разнообразна для района Высокой Арктики. Всего на архипелаге известно 167 видов сосудистых растений, примерно 380 видов мхов и лишайников и более 700 видов водорослей [39]. В районе Баренцбурга представлен типичный для среднеарктической зоны ряд растительных ассоциаций, состав которых варьируется в зависимости от литолого-геоморфологических особенностей территории [14].

Методы. Почвенные разрезы закладывались на ключевых участках до глубины залегания плотных пород, кровли ММП, либо уровня грунтовых вод (УГВ). Описание почв составлялось по полевому определителю [40]. По реакции с раствором жёлтой кровяной соли (K4[Fe(CN)6]) качественно устанавливалась интенсивность и актуальность оглеения. С помощью автоматического щупового термометра производились измерения температуры почв с шагом 10 см. Отбор образцов проводился по горизонтам.

Скелетность (щебнистость) почв (CF – coarse fraction) определялась в сухом состоянии как весовая доля почвенного крупнозёма (частиц крупнее 1 мм в диаметре) в общей массе образца. Расчёт производился по формуле:

$$CF, \% = (MT - MFF)/MT \cdot 100;$$

где MT – общая масса сухого образца, MFF – масса мелкозёма (FF – fine fraction) – частиц с диаметром >1 мм.

Исследованы физико-химические параметры природных вод различного происхождения в 26 точках (4 – в морских водах; 2 – в заводях; 3 – в озёрах; 2 – в мочажинах; 4 – в реках и ручьях; 2 – в талых снеговых и ледовых водах; 10 – в грунтовых водах): температура (T), кислотность (pH), общее содержание легкорастворимых солей (TDS) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh). Измерения велись автоматическими портативными электродами HM Digital (Hydromaster Inc., Республика Корея): СОМ-100 (T, TDS), PH-200 (pH) и ORP-200 (Eh), а также портативным мультиметром HI 98127 Combo (Hanna Instruments inc., Германия).

Анализ закономерностей распределения исследованных физико-химических свойств проводился по катенарному принципу. Названия элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) приведены в соответствии с классификацией М.А. Глазовской [41] в изложении М.Д. Богдановой с соавт. [42] (табл. 1). Контрастность распределения и возможность формирования латеральных геохимических барьеров оценивались по значению коэффициента латеральной дифференциации (L), вычисляемому по формуле:

$$Lx = CxПЛ/CxАЛ;$$

где C_{xPL} – значение параметра x в подчинённом ЭГЛ, C_{xAL} – значение параметра x в автономном (элювиальном) ЭГЛ [41].

Таблица 1. Расшифровка сокращённых названий типов ЭГЛ.

Тип ЭГЛ (индекс)	Формы и элементы форм рельефа
Элювиальный (Э)	Плоские водораздельные поверхности, выпуклые вершины, надпойменные террасы, чётко выраженные в рельефе
Трансэлювиальный (ТЭ)	Слоны различной крутизны
Трансаккумулятивно-элювиальный (ТАЭ)	Надпойменные террасы, перекрытые делювиальными шлейфами, склоны приводораздельные террасовидные
Транзитный периодически супераквальный (ТС)	Высокие и средние поймы
Супераквальный транзитный (СТ)	Низкие поймы
Аквальный (А)	Реки и др. водные объекты

Результаты

Ключевой участок «Южный берег залива Грён-Фьорд» ($77^{\circ}57'51.85''$ С; $14^{\circ}18'30.16''$ В)

В литологическом плане ландшафты ключевого участка «А» в значительной степени сформированы аккумулятивным материалом ледника. Большая часть площади южного берега залива занята крупной КМГ, в которой временными водотоками промыты глубокие эрозионные борозды, и накоплены толщи проловиального материала (рис. 2Б). Визуальных признаков засоления почв или типичной для засолённых маршей галофильной растительности не наблюдается. В отличие от почв на морском аккумулятивном берегу, воды в разрезе SVB-24-08 на низкой пойме более минерализованы ($TDS = 1\ 342,5$ мг/л). В настоящее время их толщу размывает ручей, стекающий с ледника Восточный Грён-Фьорд, минерализация воды в котором превышает 5 000 мг/л в нижнем течении (рис. 2Б).

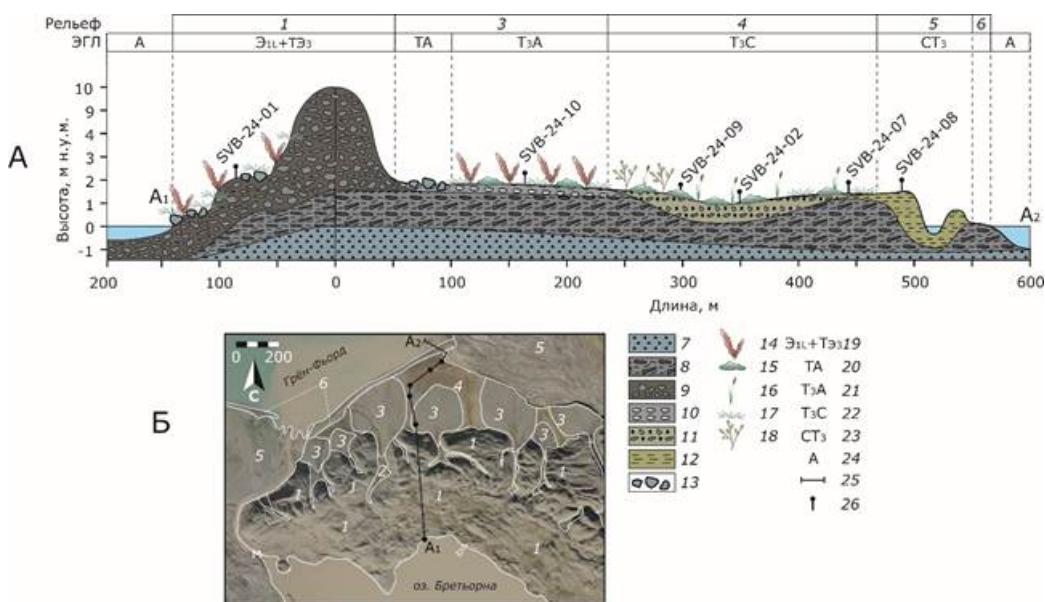


Рис. 2. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого

участка «Южный берег залива Грён-Фьорд». Формы рельефа: 1 – конечно-моренная гряда, 2 – эрозионные борозды, 3 – конус выноса, 4 – морской аккумулятивный берег, 5 – низкая пойма, 6 – пляж. Литологический состав отложений: 7 – песчаные и супесчаные морские, 8 – суглинистые ледниково-морские с галькой и щебнем, 9 – суглинистые ледниковые с валунами, 10 – щебнистые пролювиальные, 11 – песчаные с галькой и щебнем ледниково-морские, 12 – суглинистые морские, 13 – отдельные находки крупных валунов. Растительность: 14 – щавель, 15 – мхи, 16 – злаковые, 17 – лишайники, 18 – ивняки. Элементарные геохимические ландшафты: 19 – элювиальный первого порядка с преобладанием латеральной миграции + трансэлювиальный с активным выносом, 20 – трансаккумулятивный, 21 – транзитно-аккумулятивный, 22 – транзитный периодически супераквальный, 23 – супераквальный транзитный; 24 – профиль по линии А1-А2, 25 – почвенные разрезы.

Большая часть территории всего ключевого участка лишена сомкнутого растительного покрова. На каменных мостовых, ландшафты которых сформировались на плоских пологонаклонных поверхностях конусов выноса, щавелево-мохово-лишайниковая растительность произрастает в трещинах между валунами и скоплениями гальки (рис. 2А). Поверхность высокой поймы имеет гораздо больший процент проективного покрытия растительности. На возвышенной части поймы растительная ассоциация представлена ивово-мохово-злаковыми и злаково-мохово-лишайниковыми тундрами, а в неглубоком понижении на этой пойме встречается мохово-злаковая растительность (рис. 2А). Поверхность почвы на высокой пойме практически полностью покрыта мелкими (до 20 см в высоту) моховыми кочками, которые на небольшом удалении от берега чередуются с широкими параллельными полосами отступания моря.

Описанные почвы были отнесены к литозёмам грубогумусовым (разрез SVB-24-10), петрозёмам гумусовым (разрез SVB-24-02, SVB-24-07 и SVB-24-09) и солончакам вторичным на погребённых грубогумусовых почвах (разрез SVB-24-08). Для большей части из них характерна скелетность выше 50%, исключение составляет верхняя часть профиля вторичного солончака, в которой крупная фракция занимает всего 19% всей минеральной массы.

В нижней части профиля почвы SVB-24-07 находится суглинистый горизонт мощностью 10 см, отличающийся пониженной скелетностью (47,7%) и тиксотропностью. Этот горизонт чётко морфологически выражен и сходен с горизонтом почвообразующей породы в погребённом профиле грубогумусовой почвы (разрез SVB-24-08).

Ключевой участок «Мыс Финнисет» (78°2'36.26" С; 14°13'42.80" В)

На ключевом участке «Б» на м. Финнисет в 3 км к югу от п. Баренцбург было заложено 2 почвенных разреза. В геоморфологическом плане эта территория представляет собой удлинённый, выдающийся в море мыс, сформированный при активном выносе ледникового, ледниково-морского и флювиогляциального материала временным водотоком. Северная часть мыса приподнята на 7-10 м н.у.м., она прорезана несколькими V-образными глубокими оврагами (рис. 3Б), в бортах которых вскрываются слои завалуненных флювиогляциальных супесей, чередующиеся с торфом. Южная часть мыса низменная, средняя высота не превышает 2-3 м н.у.м. Большая часть её поверхности характеризуется значительной степенью антропогенного преобразования: здесь расположен археологический памятник – китобойный комплекс конца XIX – начала XX вв. [\[43-44\]](#).

Выше по склону ландшафты пляжа и морского аккумулятивного берега сменяются

широким делювиальным шлейфом (рис. 3А) и крутым (около 30°) склоном, частично покрытым мохово-злаковой растительностью, на котором встречаются осыпные участки.

На участке делювиального шлейфа строение почвенного разреза SVB-24-05 демонстрирует чёткое разделение на два слоя – верхний суглинистый, содержащий небольшое количество гальки (делювиальный), и нижний с песчаным мелкозёмом, содержащий до 75% гальки (ледниково-морской) (рис. 3). Профиль разреза SVB-24-06 менее чётко разделён на горизонты литологически. Этот разрез был заложен на более влажной, чем делювиальный шлейф, поверхности, сложенной ледниково-морскими песками, содержащими до 82% крупной фракции. Видовой состав растительности незначительно различается между участками заложения двух почвенных разрезов, однако поверхность делювиального шлейфа вблизи разреза SVB-24-05 более кочковатая, что является признаком начальных стадий криогенного пучения суглинков (рис. 6б).

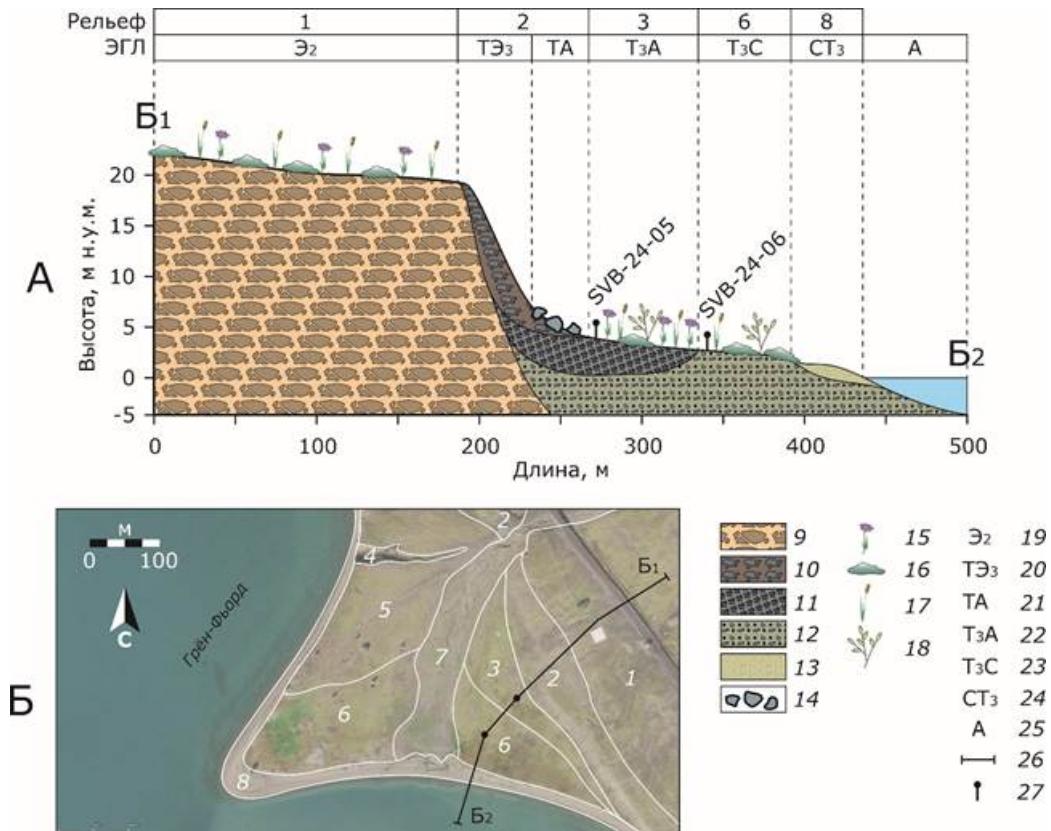


Рис. 3. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Мыс Финнисет». Формы рельефа: 1 – II морская аккумулятивная терраса, 2 – частично осыпной коренной склон II морской террасы, 3 – делювиальный шлейф склона, 4 – V-образные эрозионные врезы (овраги), 5 – пологий склон I морской террасы, 6 – морской аккумулятивный берег, 7 – пойма ручья, 8 – пляж. Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочные делювиальные, 11 – суглинистые с галькой и дресвой делювиальные, 12 – песчаные с галькой ледниково-морские, 13 – песчаные морские, 14 – отдельные находки крупных валунов. Растительность: 15 – разнотравье, 16 – мхи, 17 – злаковые, 18 – ивняки. Элементарные геохимические ландшафты: 19 – элювиальный второго порядка, 20 – трансэлювиальный с активным выносом, 21 – трансаккумулятивный, 22 – транзитно-аккумулятивный, 23 – транзитный периодически супераквальный, 24 – супераквальный транзитный; 25 – аквальный; 26 – профиль по линии Б1-Б2; 27 – почвенные разрезы.

Ключевой участок «Долина реки Грёндальсельва» (78°1'31.57" С; 14°18'44.52" В)

Ключевой участок «В» в долине р. Грёндальсельва расположен в 5 км к юго-востоку от п. Баренцбург на правом берегу реки в районе её впадения в зал. Грён-Фьорд (рис. 4). II морская терраса частично перекрыта делювиальным шлейфом, основная часть которого расположена ниже по склону (рис. 4Б). Крупнообломочно-суглинистые отложения делювиального шлейфа в разрезе содержат морфологические проявления криотурбаций в виде изогнутых линий границ между почвенными горизонтами, а также наличия крупных кочек и минеральных пятен-медальонов на поверхности. Почвы подобных местообитаний были диагностированы как криоземы глеевые (разрез SVB-24-12) (рис. 6а).

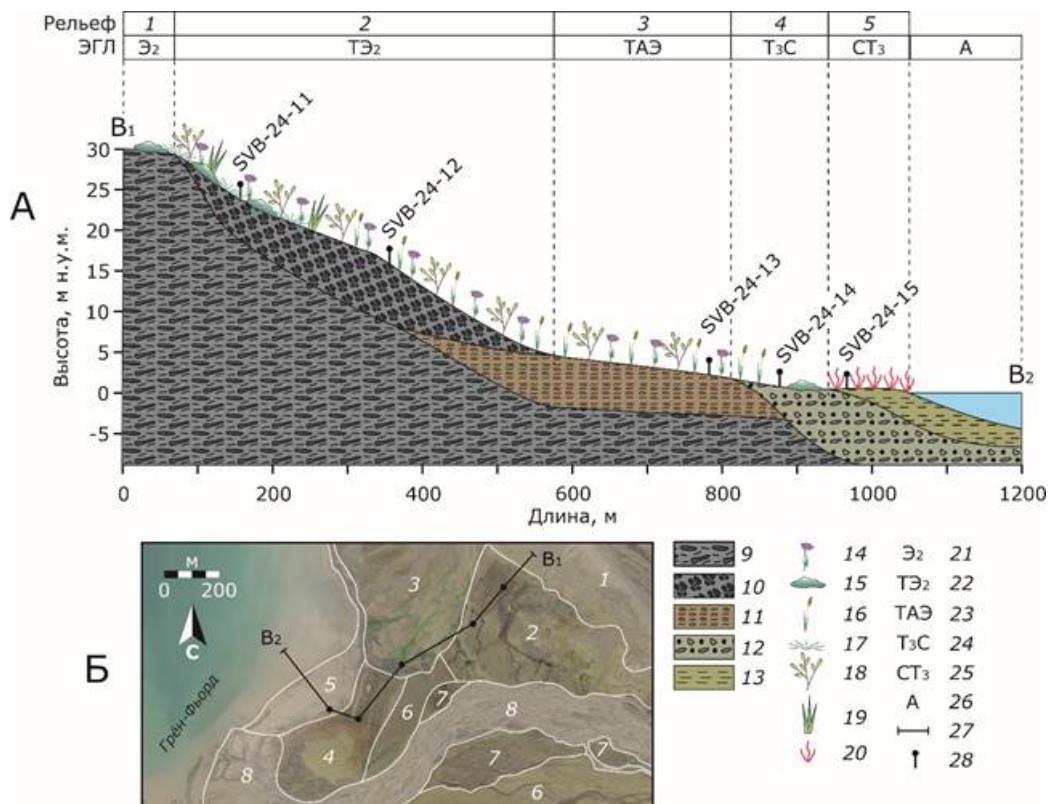


Рис. 4. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Долина реки Грёндальсельва». Формы рельефа: 1 – II морская терраса, частично перекрыта делювиальным шлейфом, 2 – делювиальный шлейф, 3 – пологий склон I морской террасы, 4 – высокая пойма, 5 – морской аккумулятивный берег, 6 – средняя пойма, 7 – низкая пойма, 8 – русло реки. Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочно-суглинистые делювиальные, 11 – песчано-суглинистые с галькой и дресвой аллювиальные, 12 – песчаные с галькой и дресвой аллювиальные, 13 – суглинисто-песчаные морские. Растительность: 14 – разнотравье, 15 – мхи, 16 – злаковые, 17 – лишайники, 18 – ивняки; 19 – осоки, 20 – солянки. Элементарные геохимические ландшафты: 21 – элювиальный второго порядка, 22 – трансэлювиальный с умеренным выносом, 23 – трансэлювиально-аккумулятивный, 24 – транзитный периодически супераквальный, 25 – супераквальный транзитный, 26 – аквальный; 27 – профиль по линии В1-В2; 28 – почвенные разрезы.

Ниже по склону наблюдается переход делювиального шлейфа в участок нижней части пологого склона I морской террасы. Растительная ассоциация при этом переходе меняется незначительно, из её состава выпадают виды семейства осоковых и большую роль приобретают злаковые (рис. 4А).

Ключевой участок «Берег бухты Колсбей» (78°6'22.29" С; 15°1'29.31" В)

Бухта Колсбей расположена примерно в 18 км к востоку от п. Баренцбург в месте впадения в зал. Икс-Фьорд рек Колсельва и Сьюнна (рис. 5). Большая часть исследованного ключевого участка расположена в широкой долине, образованной их нижними течениями. Низкие поймы заболочены, некоторые их участки сложены современными морскими лёгкими и средними суглинками, в которых ярко проявляется оглеение, о чём свидетельствуют их цвет, отсутствие в них структуры, вязкость, признаки новообразования сульфидов и др. характеристики. Поверхность поймы покрыта сеткой трещинно-полигонального рельефа, несмотря на относительно высокие зимние температуры в этом районе. Растительность высоких пойм наиболее разнообразная, в её составе доминирует мохово-лишайниково-злаковое разнотравье. Выше по склону из состава ассоциации выпадают ивняк и разнотравье, а доминирующие позиции занимают мхи и злаковые. Склоны долины пологие, ступенчатые. Вблизи п/с Колсбей и расположенных рядом зданий шахты и кернохранилища, вероятно, производилось искусственное террасирование склонов для стабилизации опор системы водопровода.

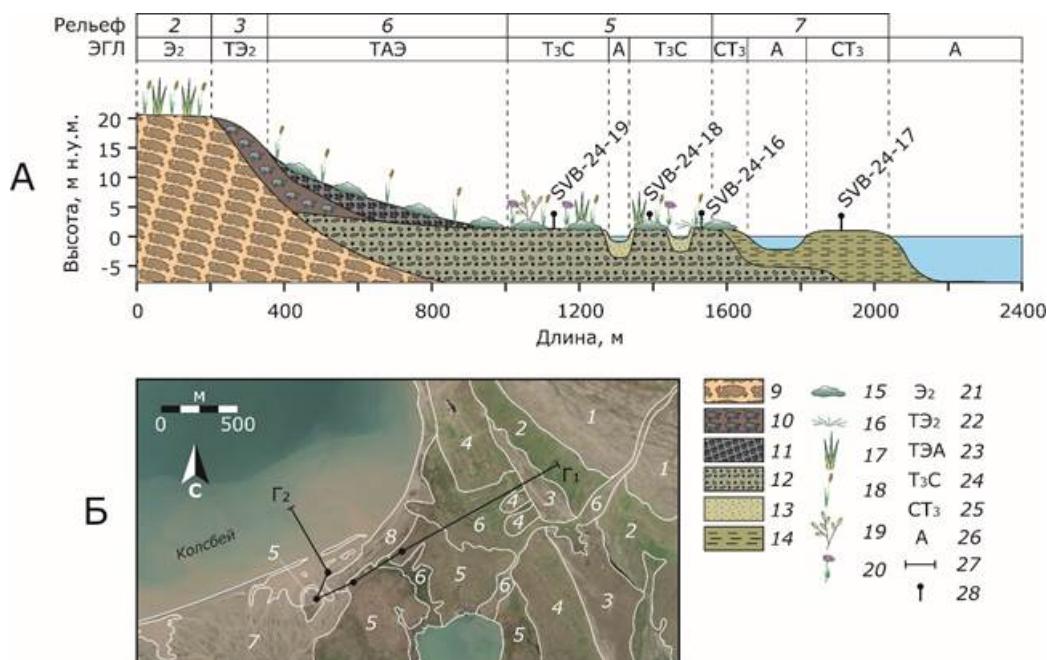


Рис. 5. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Берег бухты Колсбей». Формы рельефа: 1 – II морская терраса, 2 – пологий склон II морской террасы, 3 – I морская терраса, 4 – пологий склон I морской террасы, 5 – высокая пойма, 6 – днища временных водотоков, 7 – низкая пойма, 8 – пляж; Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочно-суглинистые делювиальные, 11 – песчано-суглинистые с галькой и дресвой пролювиально-делювиальные, 12 – песчаные с галькой и дресвой аллювиально-морские, 13 – песчаные аллювиально-морские, 14 – песчано-суглинистые морские. Растительные ассоциации: 15 – моховые, 16 – лишайниковые, 17 – осоковые, 18 – злаковые, 19 – ивняковые; 20 – разнотравные, 21 – солянковые; Элементарные геохимические ландшафты: 21 – элювиальный второго порядка, 22 – трансэлювиальный с умеренным выносом, 23 – трансэлювиально-аккумулятивный, 24 – транзитный периодически супераквальный, 25 – супераквальный транзитный, 26 – аквальный, 27 – профиль по линии Г1-Г2; 28 – почвенные разрезы.

Почвы высоких пойм, причем как соединенные с бортом долины, так и обособленные их участки, имеют сложное строение. Разрез SVB-24-16 (рис. 6а) представляет собой сочетание горизонтов, указывающее на резкую смену этапов и характера почвообразования. Верхняя часть разреза по строению близка к почве с серогумусовым

горизонтом AY. Её горизонты слабо реагируют с раствором кровяной соли и содержат рыжеватые пятна в нижней части горизонта. Ниже находится практически чёрный, окрашенный сульфидами железа, бурно реагирующий с раствором кровяной соли горизонт [GsC]. Под ним расположен надмерзлотный горизонт [Gss]^L с многочисленными включениями дресвы. Кровля ММП находится на глубине 75 см от поверхности почвы, благодаря чему весь сложный профиль почвы может быть классифицирован как мерзлотный.

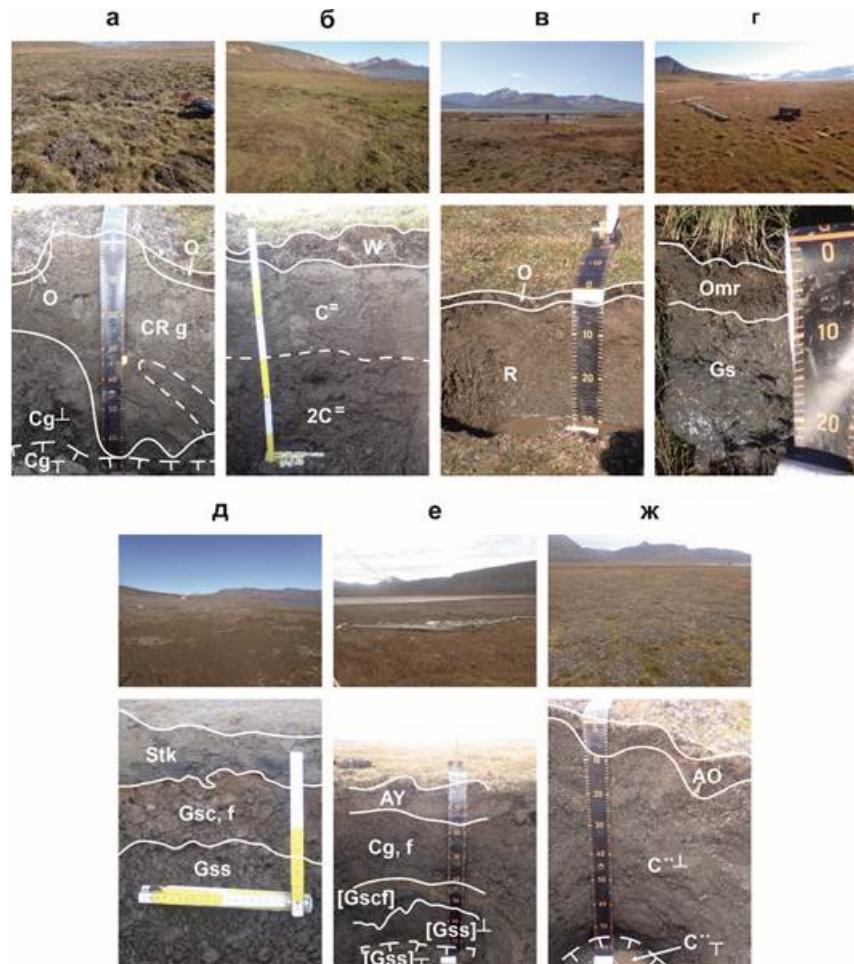


Рис. 6. Разнообразие ландшафтов и профили почв различных уровней рельефа приморских низменностей Западного Шпицбергена, исследованных в 2024 г.: а) делювиальный шлейф – криозём глееватый; б) делювиальный шлейф – пелозём гумусовый; в) I морская терраса – петrozём типичный; г) морской аккумулятивный (периодически затапливаемый) берег – глеезём иловато-торфяный засолённый; д) высокая пойма – грубогумусовая мерзлотная почва; е) низкая пойма – серогумусовая ожелезнённая почва на погребённом солончаке сульфидном ожелезнённом мерзлотном; ж) изолированное засолённое понижение на морском аккумулятивном (периодически затапливаемом) берегу – солончак сульфидный ожелезнённый.

Разрез SVB-24-18 представляет собой систему почвенных профилей, верхний из которых имеет горизонты AYg и Cf. Серогумусовый глееватый горизонт AYg, в приповерхностной части которого содержится также ярко-красная зона мощностью около 1 см. Он, в свою очередь, залегает на погребённом профиле, который по строению напоминает криозем грубогумусовый с сочетанием горизонтов AO, CR^L и нижележащим C_T. Следовательно, строение почвы имеет вид AYg – Cf – [AOg, f – CRf^L] – C_T (рис. 6е).

Физико-химические свойства природных вод

В таблице 2 приведены основные физико-химические параметры природных вод в пределах исследованных в 2024 г. ландшафтов Западного Шпицбергена. Они формируют геохимические особенности ландшафтов, а также внутренние взаимоотношения между различными ЭГЛ.

Таблица 2. Варьирование физико-химических параметров природных вод архипелага Шпицберген, исследованных в 2024 г.

Параметр	pH	Eh, мВ	TDS, г/л
Воды	По типам вод		
Морские ($n = 6$)	$8,5 \pm 0,4$	$121,7 \pm 19,7$	$3,6 \pm 2,1$
Озёрные ($n = 4$)	$8,0 \pm 0,6$	$191 \pm 35,1$	$0,17 \pm 0,19$
Речные ($n = 4$)	$8,3 \pm 0,4$	$155,8 \pm 35,3$	$0,86 \pm 1,43$
Лед/снег ($n = 2$)	$8,3 \pm 0,4$	$134,5 \pm 92,6$	$0,04 \pm 0,01$
Грунтовые ($n = 11$)	$7,7 \pm 0,6$	$174,5 \pm 73,2$	$1,02 \pm 1,59$
Уровни	По геоморфологическим уровням		
Водоразделы и автоморфные поверхности морских террас ($n = 1$)	8,4	187	0,083
Крутые склоны террас ($n = 2$)	$8,2 \pm 0,4$	$186 \pm 8,5$	$0,134 \pm 0,09$
Пологие склоны, в т.ч. на делювиальных шлейфах ($n = 2$)	$7,5 \pm 1,0$	$179,7 \pm 96,0$	$0,3 \pm 0,23$
Высокие поймы ($n = 6$)	$8,1 \pm 0,5$	$149 \pm 30,8$	$0,18 \pm 0,10$
Низкие поймы ($n = 11$)	$7,9 \pm 0,5$	$176 \pm 77,1$	$0,18 \pm 0,10$
Морские аккумулятивные (периодически затапливаемые) берег ($n = 6$)	$8,5 \pm 0,4$	$121,7 \pm 19,7$	$3,63 \pm 2,12$

Примечание: в ячейках таблицы среднее значение \pm стандартное отклонение.

Мощности СТС и криогенные текстуры верхних слоёв мёрзлых пород

В пределах исследованной территории мощности СТС были зафиксированы на глубинах от 80 до 115 см. Чаще всего относительно небольшие глубины сезонного протаивания отмечались на участках, где распространены отложения утяжелённого гранулометрического состава и развит напочвенный осоково-злаковый и/или мохово-торфянистый покров – на слабонаклонных поверхностях рельефа в автоморфных позициях или близких к ним. На склонах с разреженным растительным покровом и на лишёных растительности участках низменных аккумулятивных берегов мощности СТС чаще всего превышают 200 и более см.

Верхние слои ММП, вскрытые на характерных глубинах 80-115 см, представляют собой слабольдистые толщи, характеризующиеся в основном корковой криогенной текстурой – лёд образует тонкие корки на поверхностях щебня. Текстурообразующий лёд преимущественно чистый, прозрачный, не отличающийся слоистостью или высоким содержанием пузырьков воздуха. В пределах участка в долине р. Грэндальсельва под мощными моховыми кочками был обнаружен мощный слой столбчато-стебелькового льда – прозрачного, не содержащего пузырьков воздуха, со столбиками-стебельками размером 15x2 см с прямоугольным или ромбовидным поперечным сечением (рис. 7).



Рис. 7. Столбчато-стебельковый лёд под моховыми кочками в приустьевой части длины р. Грендалльсельва

Криогенный микрорельеф

Дневная поверхность территории приморских низменностей Западного Шпицбергена в значительной степени преобразована криогенными процессами. Среди наиболее распространённых форм криогенного микрорельефа – торфяные кочки (рис. 8а), трещинно-полигональные комплексы (рис. 8б), выпуклые пятна-медальоны (рис. 8в) и некоторые другие. Массовое формирование крупных пятен медальонов (средний диаметр основания такого пятна превышает 50 см, а высота может достигать 20 см), приурочено к делювиальным шлейфам, гранулометрический состав делювиальных отложений которых содержит как крупный щебень и гальку, так и тонкие илистые частицы. В результате перемещёнными на поверхность почвы оказываются большие количества щебня, а в зоне активного криогенного массообмена (в верхней части профиля криозёма – разрез SVB-24-12) образуется обеднённый щебнем криотурбированый суглинистый горизонт.

Обширные пространства тундровых ландшафтов высоких пойм в бухте Колсбей разбиты системой мерзлотных трещин. Площади полигонов небольшие, редко крупнее 1 м², форма их неправильная, вытянутая, со сглаженными углами (рис. 8б). Поверхности полигонов практически не покрыты растительностью, а межполигональные трещинные пространства заняты плотным, преимущественно моховым покровом. Несмотря на такие яркие геоботанические различия между микроформами криогенного рельефа, профильное строение почв слабо нарушается системой трещин. Глубина растрескивания не превышает нескольких сантиметров и чётких вертикальных клиньев они не образуют.



Рис. 8. Проявления криогенного микрорельефа на приморских низменностях Западного Шпицбергена: а) торфяные кочки; б) трещинно-полигональные комплексы; в) пятна-

медальоны.

Торфяные кочки занимают большие площади в пределах пойм и низких морских террас. Кочковатость формирует неоднородность глубины сезонного протаивания на нано- и микроуровне. Перепады высот не превышают 5 см. Роль стебелькового льда в формировании кочковатости особенно заметна в условиях близкого расположения открытого источника воды в мочажинах и мелких озёрах (рис. 8).

Обсуждение

Почвенно-геоморфологическое строение и геокриологические условия территории

Чередование морских трансгрессий и ледниковой аккумуляции, предположительно, является причиной формирования многочленных отложений на низменных участках аккумулятивных морских берегов. Так, по данным Б.Р. Мавлюдова и А.В. Кудинова^[45], один из крупнейших ледников вблизи зал. Грён-Фьорд – Альдегонда, на протяжении XX в. отступил от берега примерно на 4 км, тем самым обнажив значительный участок площади, на котором в настоящее время можно наблюдать развитие почв с «нуль-момента» почвообразования^[12]. Поверх ледниковых отложений (суглинков с включениями гальки и дресвы) в результате повышения уровня моря откладывалась толща морских песков и супесей, иногда с содержанием растительного детрита. Затем при отступлении моря, активизации оледенения и новом расширении границ перигляциальной зоны происходит повторное отложение ледникового материала. Такая последовательность, повторившаяся несколько раз за относительно короткое время, приводит к образованию контрастных слоев внутри почвенных профилей, с различным литологическим составом и структурными особенностями^[30].

На космических снимках территории ключевого участка «Южный берег залива Грён-Фьорд» видны 7 крупных конусов выноса, также возникшие в результате деятельности временных водотоков (рис. 2). Морской аккумулятивный берег за пределами конусов выноса сформирован сгонно-нагонными процессами. Об этом свидетельствуют находки большого количества фрагментов древесины. Однако, относительно невысокие значения минерализации грунтовых вод в почвенных разрезах SVB-24-02 и SVB-24-07 (TDS = 179,1 и 350 мг/л, соответственно) свидетельствуют об отсутствии устойчивой гидравлической связи между морскими и грунтовыми водами в настоящее время. Предположительно, отсутствие здесь признаков засоления связано также с промывным водным режимом почв. Низкая пойма сложена легко- и среднесуглинистыми отложениями (рис. 2А). Они, судя по наличию на поверхности такыровидных корок (в сухом состоянии покрывающихся сетью мелкополигональных трещин) с белёсыми выцветами минеральных солей (предположительно, хлоридно-натриевого состава) испытывают значительное влияние морских вод.

Все уровни рельефа на участке «Мыс Финнисет», включая II ледниково-морскую аккумулятивную террасу, прорезаны ручьем, течение которого, по-видимому, имеет временный характер, поскольку его воды формируются снежником на коренном склоне восточного побережья Грён-Фьорда. Об участии моря в формировании этих отложений, а также нижележащего слоя суглинков, свидетельствуют находки раковин двустворчатых моллюсков и их обломков^[46].

Предположительно, наблюдаемое на всех четырёх участках обеднение видового состава растительных ассоциаций при переходе от ЭГЛ на суглинистых почвах к ЭГЛ на более

лёгких, в т.ч. щебнистых отложениях, связано с дефицитом мелкозема в пределах корнеобитаемого слоя, а также с залеганием уровня грунтовых вод не глубже 30-40 см от поверхности почвы. Ландшафты низких аккумулятивных морских берегов сформированы при значительном участии морской аккумуляции засолённого суглинистого наилка, что подтверждает наличие тонкой корки выцветов солей на поверхности почвы (рис. 2А). Кроме того, грунтовые воды, вскрытые почвенными разрезами SVB-24-14 и SVB-24-15, имеют повышенную минерализацию – значения TDS равны 197 и 3040 мг/л, соответственно. Подобные ландшафты имеют ограниченный потенциал для роста большей части растений, уступая доминирующему положение солянковым.

Скважины, пробуренные в долине Адвентдален (район Лонгйира) в рыхлых делювиальных отложениях, нередко вскрывали серию высокольдистых слоёв атакситовой криотекстуры, в т.ч. это было характерно для насыщенных щебнем и галькой толщ [26]. Мощность СТС, зафиксированная по результатам анализа хода термометрических наблюдений за 2010-2011 гг. в скважине в Адвентдалене, составляет около 75 см, ниже залегает небольшой слабольдистый прослой, а ниже высокольдистая толща (предположительно, переходного слоя ММП). Скважина «Адвентдален» расположена на пологом склоне северной экспозиции одноимённой долины, а в скважине «Эндален» в аналогичных условиях, но в южной экспозиции, ежегодно протаивает примерно до 170 см, а высокольдистая толща переходного слоя, предположительно, практически полностью деградировала [47-48].

Результаты долговременного дистанционного зондирования степени выраженности криогенного микрорельефа [48], в целом указывает на его почти повсеместную деградацию, в особенности на низких геоморфологических уровнях. Тем не менее, в глубоких ложбинах стока на северных склонах, наблюдаются области, где за период 2009 – 2017 гг. сокращалось среднее время оттаивания за год, следовательно и глубина СТС, в результате чего может происходить новообразование ММП.

Варьирование физико-химических свойств природных вод

Значения pH природных вод, в т.ч. грунтовых, по мере перемещения от верхней части катенарного профиля к нижней, повышаются практически на 1 единицу. Это связано со значительной ролью морских вод в формировании физико-химических свойств почв нижних уровней рельефа и практически полным отсутствием их современного влияния на формирование свойств почв на высоких речных и морских террасах.

Эти участки формируются при значительном участии сгонно-нагонных движений морских вод, которые приводят к значительному засолению этих отложений, на поверхности которых отсутствует растительность, а в сухом состоянии наблюдаются белесые выцветы солей. Высокие поймы сложены крупным аллювиально-морским песком с высоким содержанием крупнообломочной фракции, предположительно, ледникового происхождения. На современном этапе почвообразования здесь развивается серогумусовая ожелезнённая глееватая почва. Под ней расположен профиль, предположительно, оставшийся от предыдущего этапа почвообразования, когда на этом участке формировался солончак сульфидный. Его строение достаточно близко к описанным в точках SVB-24-03 и SVB-24-15 (рис. 6). В верхней части погребённого профиля выделяется едва заметный прослой на глубине около 43-45 см от поверхности, вероятно, бывший ранее горизонтом SS (солончаковая такыровидная корка). В зависимости от точки зрения, возможна также интерпретация этого разреза, как

содержащего сразу два погребённых профиля. Его формула строения в таком случае может быть записана как: AY – [SSg – GsCox – Gss] – [SS – GsC – Gss] \perp – C_T. Согласно такой интерпретации, первый погребённый профиль является сульфидным солончаком, а ниже залегает второй практически аналогичный солончак.

Наиболее щелочными являются морские воды, значения pH в которых варьируют в интервале от 8,1 до 9,2 ед. Именно тип вод обуславливает наибольшие различия в кислотности среды элементарных ландшафтов – близость к морю и наличие устойчивой гидравлической связи вод суши с морскими водами приводит к тому, что в грунтовых водах некоторых прибрежных ландшафтов реакция среды является щелочной (разрез SVB-24-08 и др.). Максимальное значение pH 9,2 ед. при этом характерно для воды в заводи, не имеющей постоянного водообмена с морем, а одни из наименьших значений наблюдаются в почвах, разрезы которых были заложены на возвышенных участках рельефа на удалении от берега – SVB-24-06 (pH 7,2), SVB-24-13 (pH 6,7) и др. Между ключевыми участками исследования значения pH варьируют относительно слабо, средние значения отличаются друг от друга на 0,2 – 0,3 ед., тогда как интервалы варьирования практически совпадают (табл. 2). Явной закономерности увеличения или уменьшения среднего значения pH вверх или вниз по модельной геохимической катене не наблюдается. Коэффициент L отличается от 1 незначительно на протяжении всего ряда ЭГЛ (рис. 9).

Значения Eh демонстрируют довольно широкий разброс от –3 до 246 мВ. Весь диапазон значений при этом свойственен восстановительной среде (

Важнейшим фактором дифференциации значений TDS является тип вод, который в данном случае определяет варьирование как средних, так и максимальных значений TDS. Практически пресными водами (TDS не более 0,05 г/л) отличаются снега и льды, чуть более высока минерализация озерных и речных вод, разброс значений TDS которых объясняется различными соотношениями атмосферной (или ледниковой) и морской воды, которые формируют химический состав конкретного ландшафта. Так, в почвах участков, расположенных в непосредственной близости к морю, значения TDS нередко превышали 3,0 г/л (табл. 9), тогда как воды, выступавшие в почвах, исследованных на возвышенных участках рельефа, были близки к пресным. Устойчивый рост значений TDS заметен вниз по катене.

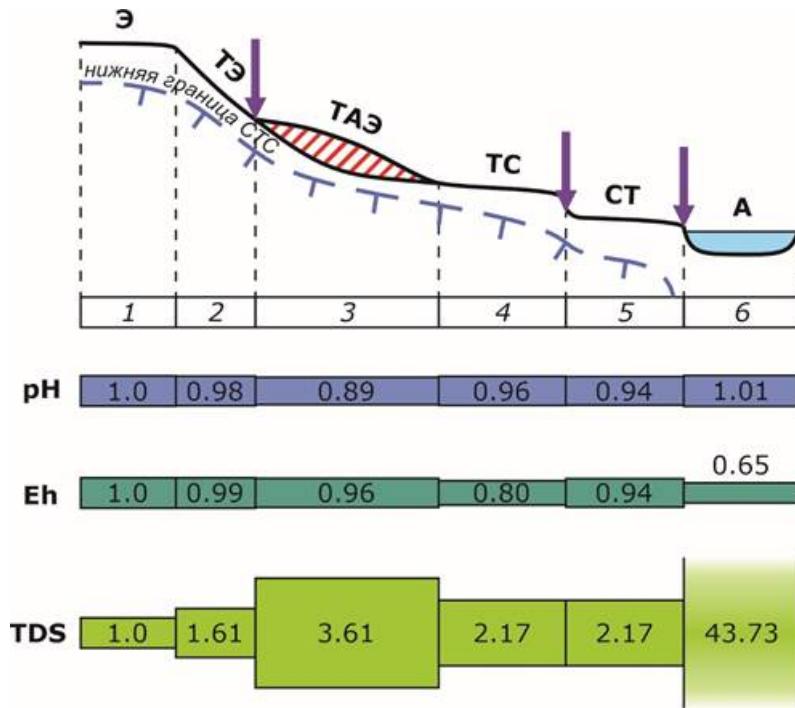


Рис. 9. Общие закономерности катенарных распределений физико-химических свойств природных вод на исследованных в 2024 г. участках Западного Шпицбергена. Геоморфологические уровни: 1 – водоразделы и автоморфные поверхности террас; 2 – крутые склоны террас; 3 – пологие склоны, в т.ч на делювиальных шлейфах; 4 – высокие поймы; 5 – низкая пойма; 6 – водные объекты. Элементарные геохимические ландшафты: Э – элювиальные; ТЭ – трансэлювиальные; ТАЭ – трансаккумулятивно-элювиальные; СТ – супераквально-транзитные; ТС – транзитно-супераквальные; А – аквальные. Красной наклонной штриховкой показан делювиальный шлейф, стрелками – местоположения латеральных геохимических барьеров.

Заключение

Строение большинства исследованных криогенных почв прибрежно-морских экосистем Западного Шпицбергена обнаруживает наличие контрастных слоев внутри почвенных профилей, с различным литологическим составом и структурными особенностями, что обусловлено чередованием морских трансгрессий и ледниковой аккумуляции на современном климатическом этапе развития. Развитый в настоящее время криогенный микрорельеф в весьма малой степени соответствует текущим климатическим условиям и относительно слабо поддерживается современными криогенными процессами. Увеличение мощности СТС также обуславливает практически повсеместную деградацию верхнего, переходного слоя ММП, однако масштабных ландшафтных перестроек на большей части территории не предвидится, в связи с неглубоким залеганием скальных пород. Роль морских вод в формировании современных физико-химических свойств почв является ведущей на низких уровнях мезорельефа и практически не проявляется в свойствах почв на высоких речных и морских террасах.

В почвенно- и ландшафтно-геохимических катенах исследованных ключевых участков на Западном Шпицбергене, наиболее вероятно обнаружение восстановительных латеральных геохимических барьеров, которые развиваются из-за резкого падения значений Eh почв на границах между высокими и низкими поймами, а также между участками, более и менее подверженными влиянию сгонно-нагонных процессов и морской аккумуляции. Учитывая морскую аккумуляцию тонких илистых частиц в этих зонах, можно также предположить комплексную природу этих барьеров и

классифицировать их как восстановительно-сорбционные. В таком случае именно эти участки низких аккумулятивных морских берегов будут иметь повышенный потенциал аккумуляции разнообразных химических веществ, в т.ч. потенциально токсичных. С учётом наличия большого количества органического дегрита, этот потенциал может значительно увеличиться. Именно эти зоны могут представлять повышенный интерес для будущих эколого-геохимических исследований.

Библиография

1. Humlum O., Instanes A., Sollid J.L. Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research*, 2003, vol. 22 (2), pp. 191-215.
2. Втюрин Б.И. Подземные льды Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1989. № 65. С. 69-75.
3. Втюрин Б.И. Криогенное строение рыхлых отложений Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1990. № 70. С. 43-49.
4. Geologien på Svalbard (2007). S. Ellevold, W. Dallmann, D. Blomeier. Norge, Tromsø: Norsk Polarinstitutt, Polarmiljøsenteret. ISBN: 978-82-7666-239-9. (Норв.)
5. Кротков В.Е., Письменюк А.А., Кизяков А.И. Территориальная дифференциация проявления криогенные процессы на Земле Норденшельда (о. Западный Шпицберген) // Рел. и четв. обр. Аркт., Субарк. и Сев.-Зап. России. 2019. Вып. 6. С. 66-70. URL: <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2019-10611>
6. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р. и др. Климатические изменения и возможная динамика многолетнемёрзлых грунтов на архипелаге Шпицберген // Лёд и Снег, 2012. № 2 (118). С. 115-120.
7. Schirrmeister L., Siegert C., Strauß J. (2012). Permafrost ein sensibles Klimaphänomen – Begriffe, Klassifikationen und Zusammenhänge. *Polarforschung*, Vol. 81 (1), pp. 3-10. (Нем.)
8. Таргульян В.О., Куликов А.В. Основные черты почв острова Западный Шпицберген // Биологические проблемы Севера. Тез. X Всесоюз. симпоз. Ч. 1. Магадан, 1983. С. 272-273.
9. Добровольский В.В. Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение, 1990. № 2. С. 5-20.
10. Перееверзев В.Н., Литвинова Т.И. Почвы морских террас и коренных склонов на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген // Почвоведение, 2010. № 3. С. 259-269.
11. Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Шахова Е.В., Малков А.В. Тяжёлые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген // Экология человека, 2014. № 9. С. 8-13.
12. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. Таксономическое и морфологическое разнообразие почв окрестностей залива Гренфьорд (архипелаг Шпицберген) // Самар. Лука: пробл. регионал. и глобал. экологии, 2016. Т. 25. № 4. С. 156-161.
13. Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М. Почвы юго-западного побережья острова Западный Шпицберген // Тр. Кол. НЦ РАН. Прикл. экология Севера, 2021. Вып. 9. Т. 12. № 6. С. 271-275. URL: <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.040>
14. Walker D.A., Raynolds M.K., Daniels F.J.A. et al. The Circumpolar Arctic Vegetation Map // *J. Veg. Sci.*, 2005, vol. 16, No. 3, pp. 267-282. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>
15. Szymański W., Skiba S., Wojtun B. (2013). Distribution, genesis, and properties of Arctic soils: a case study from the Fuglebekken catchment, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 289-304. URL: <https://doi.org/10.2478/popore-2013-0017>
16. van der Meij W.M., Temme A.J.A.M., de Kleijn C.M.F.J.J. et al. (2016). Arctic soil

development on a series of marine terraces on central Spitsbergen, Svalbard: a combined geochronology, fieldwork and modelling approach. *SOIL*, Vol. 2, pp. 221-240.

URL: <https://doi.org/10.5194/soil-2-221-2016>

17. Bartos A., Szymański W., Gus-Stolarczyk M. (2023). Morphology and properties of permafrost-affected soils under different tundra vegetation in central Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-20. URL: <https://doi.org/10.24425/prr.2022.143317>

18. Jones E.L., Hodson A.J., Thornton S.F., Redeker K.R., Rogers J., Wynn P.M., Dixon T.J., Bottrell S.H., O'Neill H.B. (2020). Biogeochemical Processes in the Active Layer and Permafrost of a High Arctic Fjord Valley. *Front. Earth Sci.*, Vol. 8:342.

URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00342>

19. Шляхов С.А. Классификация почв морских побережий. Владивосток, 1996. 35 с.

20. Черноусенко Г.И., Орешникова Н.В., Украинцева Н.Г. Засоление почв побережья северных и восточных морей России // *Почвоведение*, 2001. № 10. С. 1192-1206.

21. Губин С.В., Лупачев А.В., Ходжаева А.К. Почвы аккумулятивных берегов морей восточного сектора Российской Арктики. *Почвоведение*, 2022. № 1. С. 1-8.

URL: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010051>

22. Lupachev A.V., Gubin S.V. The soil-cryogenic complex: Evidence of late Pleistocene-Holocene coevolution of permafrost and cryosols at the Kolyma Lowland. *Permafrost and Periglac. Process.*, 2023. Pp. 1-14. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.2191>

23. Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мёрзлых пород и термокарст. Новосибирск: Изд-во АН СССР. Сиб. отд-ние, 1988. 214 с.

24. Андреева Е.С., Липовицкая И.Н., Андреев С.С. Современные особенности погодно-климатического режима острова Западный Шпицберген и их вклад в рассеивание антропогенных примесей // *Общество. Среда. Развитие*, 2019. № 2. С. 68-72.

25. Лаврентьев И.И., Кутузов С.С., Глазовский А.Ф. и др. Толщина снежного покрова на леднике Восточный Грёнфьорд (Шпицберген) по данным радарных измерений и стандартных снегомерных съёмок // *Лёд и Снег*, 2018. Т. 58. № 1. С. 5-20.

URL: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-1-5-20>

26. Tolgensbakk, L., Sørbel, J., Høgvard K., (2000). Adventdalen, Geomorphological and Quaternary Geological map, Svalbard 1:100 000, Spitsbergen sheet C9Q. Norsk Polarinstitut Temakart rr. 32.

27. Шарин В.В., Гусев Е.А., Зыков Е.А. Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген масштаба 1:1000 000 // Рел. и четв. образ. Аркт., Субаркт. и Сев.-Зап. России, 2022. Вып. 9. С. 291-295. URL: <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2022-9-291-295>

28. Bondrevik S., Mangerud J, Ronnert L. et al. (1995). Postglacial sea-level history of Edgeoya and Barentsoya, eastern Svalbard. *Polar Res.*, Vol. 14(2), pp. 153-180.

29. Geoscience Atlas of Svalbard (2015). Ed. W.K. Dallmann. Norway, Tromsø: Norsk Polarinstitutt (Norge Polar Institute), Report Series No. 148.

30. Терехов А.В. Изменчивость баланса массы ледников района Баренцбурга (архипелаг Шпицберген) в начале 21-го века / Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: Аркт. и Антаркт. научн.-исслед. ин-т, 2024. 121 с.

31. Landvik J., Mangerud J., Salvigsen O. (1988). Glacial history and permafrost in the Svalbard area. V Intern. on Permafrost. Trondheim, Norway, pp. 194-198.

32. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М.: Наука, 1975. 276 с.

33. Brown, J., Ferrians Jr., Heginbottom O.J. et al. (1997). Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions. US Geological Survey Reston.

34. Etzemüller, B., Schuler, T.V., Isaksen, K., Christiansen, H.H., Farbrot, H., Benestad, R. (2011). Modeling the temperature evolution of Svalbard permafrost during the 20th and 21st century. *Cryosphere*, Vol. 5, pp. 67-79. URL: <https://doi.org/10.5194/tc-5-67-2011>

35. Harris C., Kern-Luetschg M., Christiansen H.H. et al. (2011). The Role of Interannual Climate Variability in Controlling Solifluction Processes, Endalen, Svalbard. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 22(3), pp. 239-253. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.727>

36. Romanovsky, V.E., Smith, S.L., Christiansen, H.H. (2010). Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 21, pp. 106-116.

37. Демидов Н.Э., Караевская Е.С., Веркулич С.Р., Никулина А.Л., Саватюгин Л.М. Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) // Проблемы Арктики и Антарктики, 2016. №4 (110). С. 67-79.

38. База данных международной программы циркумполярного мониторинга активного слоя (CALM), данные о результатах измерений на опытных площадках в северном полушарии [Электронный ресурс]. URL: <https://www2.gwu.edu/~calm/data/north.htm> (дата обращения 21.09.2024).

39. A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Oslo: Norsk Polarinstitutt, 1996.

40. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

41. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964.

42. Богданова М.Д., Гаврилова И.П., Герасимова М.И. Элементарные ландшафты как объекты ландшафтно-геохимического картографирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2012. № 1. С. 23-28.

43. Näsquebord L. (2001). Three centuries of whaling and walrus hunting in Svalbard and its impact on the Arctic ecosystem. *Environment and History*, Vol. 7, No. 2, "Beyond Local, Natural Ecosystems" Sp. Iss. Pp. 169-185. URL: <https://doi.org/10.3197/096734001129342441>

44. Grønfjord (Green Harbour): Finneset. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spitsbergen-svalbard.com/photos-panoramas-videos-and-webcams/spitsbergen-panoramas/finneset.html> (дата обращения 04.10.2024).

45. Мавлюдов Б.Р., Кудинов А.В. Изменение ледника Альдегонда с начала XX века // Изв. Кол. НЦ РАН, 2018. №3 (10). С. 152-162. URL: <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.152-164>

46. Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Любас А.А. и др. Новые данные по палеогеографии восточного побережья залива Грён-Фьорд (остров Западный Шпицберген) на основании изучения голоценовых отложений на мысе Финнисет с применением изотопно-геохимических методов // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов, 2020. Т. 331. № 1. С. 171-183. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/1/2458>

47. Rasmussen C.F., Christiansen H.H., Buylaert J.P. et al. (2023). High-resolution OSL dating of loess in Adventdalen, Svalbard: Late Holocene dust activity and permafrost development. *Quatern. Sci. Rev.*, 310:108137. URL: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108137>

48. Rouyet L., Laukens T.R., Christiansen H.H. et al. (2019). Seasonal dynamics of a permafrost landscape, Adventdalen, Svalbard, investigated by InSAR. *Rem. Sens. of Environ.* 231:111236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11123>

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования в данной работе является изучение почвенно-геоморфологического строения, физико-химических свойств почв и природных вод западного Шпицбергена.

Методология исследования основана на лабораторных методах химического анализа почв и проб воды, а также полевых методах почвенных разрезов на ключевых участках с описанием почв по полевому определителю. Измерения температуры почв производились шагом в 10 см с помощью автоматического щупового термометра. Отбор почвенных образцов проводился по горизонтам. Исследованы физико-химические параметры природных вод различного происхождения в 26 точках.

Актуальность. Криогенные почвы и подстилающие их верхние горизонты многолетнемерзлых пород являются важнейшим элементом функционирования полярных биомов в районах с близким залеганием многолетнемёрзлых пород. Строение, свойства и функционирование почвенного покрова и мерзлотная обстановка во многом определяют геохимические особенности полярных ландшафтов. Многолетнемерзлые породы Шпицбергена распространены не только в высокогорьях, но и на низменных прибрежных участках, в наибольшей степени занятых растительностью и подверженных антропогенному воздействию, они там занимают до 70% площади внеледниковых пространств. Современная динамика развития криолитозоны в регионе, прежде всего – увеличение мощности деятельного слоя на фоне повышения среднегодовых температур воздуха, может в значительной мере отразиться на почвах прибрежно-морских криогенных экосистем Шпицбергена.

В связи с этим, актуальным является изучение почвенно-геоморфологического строения и физико-химических свойств почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов западного Шпицбергена.

Объектами исследования являлись два ключевых участка – побережье залива Грён-Фьорд в районе п. Баренцбург и побережье бухты Колсбей в заливе Ис-Фьорд вблизи одноимённой полярной станции. На приморских низменностях берегов залива Грён-Фьорд в различных ландшафтно-геоморфологических и геокриологических условиях было заложено 12 почвенных разрезов, в районе п/с Колсбей – 4 разреза.

Научная новизна заключается в описании геохимических особенностей ландшафтов, почв и природных вод западного Шпицбергена.

Стиль статьи - научный, соответствует установленным требованиям журнала. Структура статьи включает в себя введение, объекты и методы исследований, результаты и обсуждение, заключение, библиографию. Объем текстовой части статьи соответствует требованиям журнала. В целом, содержание научной статьи раскрывает ее тему, выводы доказательны и обоснованы. Текст написан научным языком, однако есть небольшие замечания по написанию слов. Например в названии статьи слова «геоморфологическое» и «западного» следует писать со строчных букв, а не с заглавных.

Библиография статьи слишком обширная и включает в себя 48 источников, 22 из которых на иностранном языке. Некоторые источники были опубликованы более 40 лет назад, что нарушает современные требования рецензируемых журналов по использованию литературных источников. Несколько источников оформлены с нарушением ГОСТа, поэтому автору необходимо внести корректизы.

Выводы в статье достаточной степени аргументированы и обоснованы.

Автором установлено, что развитый в настоящее время криогенный микрорельеф в весьма малой степени соответствует текущим климатическим условиям и относительно слабо поддерживается современными криогенными процессами. Роль морских вод в формировании современных физико-химических свойств почв является ведущей на

нижних уровнях мезорельефа и практически не проявляется в свойствах почв на высоких речных и морских террасах. В почвенно- и ландшафтно-геохимических катенах исследованных ключевых участков на западном Шпицбергене, наиболее вероятно обнаружение восстановительных латеральных геохимических барьеров, которые развиваются из-за резкого падения значений Eh почв на границах между высокими и низкими поймами.

Научная статья имеет важную практическую значимость, так как результаты проведенных исследований могут представлять повышенный интерес для будущих эколого-геохимических исследований на западном Шпицбергене.

Рецензируемая статья несомненно будет интересна и полезна почвоведам, грунтоведам и мерзлотоведам, а также ученым и аспирантам данных научных направлений.

Данная статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Васильчук А.К., Васильчук Ю.К. Глинистые грунты едомных толщ// Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.73742 EDN: QWDUYK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73742

Глинистые грунты едомных толщ

Васильчук Алла Константиновна

ORCID: 0000-0003-1921-030X

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник; лаборатория геоэкологии Севера; МГУ им. М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, 1, оф. географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера



✉ alla-vasilch@yandex.ru

Васильчук Юрий Кириллович

ORCID: 0000-0001-5847-5568

доктор геолого-минералогических наук

профессор; кафедра геохимии ландшафтов и географии почв; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009



✉ vasilch_geo@mail.ru

[Статья из рубрики "Грунты холодных равнинных и горных регионов"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.73742

EDN:

QWDUYK

Дата направления статьи в редакцию:

18-03-2025

Аннотация: Предметом исследования являются едомные толщи, сложенные глинистыми грунтами: супесями и суглинками. Показано, что толщи едомного комплекса обычно сложены льдонасыщенными пылеватыми супесчано-суглинистыми грунтами. Однако часто они представлены льдонасыщенными песчаными, песчано-гравийными и даже щебнистыми грунтами. Приведено определение едомных толщ: едома – это сильнольдистые (содержащие более 50-90% льда), как правило, богатые органическим

материалом (содержащие более 1-2% органики), иловатые и пылеватые супесчаные и мелкопесчаные поздненеоплейстоценовые отложения; в межгорных котловинах и на склонах едомные толщи, могут быть насыщены дресвой и щебнем, а в долинах и дельтах рек едомные толщи могут содержать гравий и галечник. Возраст едомных толщ варьируется от 12 до 50 калибр. тыс. лет и старше. Едомные отложения вмещают мощные (высотой до 15-20 м и более), нередко многоярусные – циклитно располагающиеся, сингенетические повторно-жильные льды. Едомные отложения, вскрытые обнажениями, как правило, издают специфический запах «старой конюшни» из-за разлагающейся органики. Методология исследования заключается в детальном обзоре изученных авторами и коллегами едомных толщ. Едома с крупнообломочным материалом обнаружена как севернее 80° с.ш., так и на юге в Западном Саяне и Забайкалье южнее 55° с.ш. Наиболее интересными, изученными авторами на севере России являются разрезы едомного комплекса, сложенные преимущественно глинистыми, суглинистыми и супесчаными грунтами, вскрытые в обнажениях повторно-жильного комплекса у пос. Сеяха (высота более 20 м), едомы у пос. Зеленый Мыс (высота обнажения более 40 м), Дуванный Яр (высота около 55 м), едомы Бизон (высотой до 15 м), Станчиковский Яр (высота около 35 м), Батагайский мегапровал (высота более 75 м), и в долине р. Майн. Особо подчеркнуто, что в Западной Сибири едомные толщи изучены на Ямале в Сеяхинском позднеплейстоценовом сингенетическом повторно-жильном комплексе, высотой от 22 до 24 м.

Ключевые слова:

едома, повторно-жильные льды, сингенетические, глинистые грунты, гравий, обломки горных пород, Западная Сибирь, Якутия, Чукотка, Арктика

Работа выполнена в рамках темы НИР: Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики (ГЗ - Номер ЦИТИС: 121051100167-1) при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-17-00082 - Палеоциклы углерод-азота в экосистемах бугристых и полигональных торфяников, едомы и в пластовых льдах на севере России).

Введение

Для обозначения грунтовых толщ с обильным содержанием повторно-жильных льдов используются два термина: едомный комплекс и ледовый комплекс. Общая занимаемая ими площадь, достигает $350\ 000\ km^2$. Толщи едомного комплекса сложены не только льдонасыщенными пылеватыми супесчано-суглинистыми грунтами, но и льдонасыщенными песчаными, песчано-гравийными и даже щебнистыми грунтами. Мощность их изменяется от 10 до 60 м, протяженность – в обнажениях многие десятки и сотни метров, а содержание повторно-жильных льдов в них достигает 30-50%. Авторы так кратко охарактеризовали рассматриваемый комплекс: едома – это сильнольдистые (содержащие более 50-90% льда), как правило, богатые органическим материалом (содержащие более 1-2% органики), иловатые и пылеватые супесчаные и мелкопесчаные поздненеоплейстоценовые отложения; в межгорных котловинах и на склонах едомные толщи, могут быть насыщены дресвой и щебнем, а в долинах и дельтах рек едомные толщи могут содержать гравий и галечник. Возраст едомных толщ варьирует от 11,7 до 50 калибр. тыс. лет и старше. Едомные отложения вмещают мощные (высотой до 15-20 и более метров и шириной 1-3,5 м), нередко многоярусные, сингенетические повторно-жильные льды. Едомные отложения, вскрытые обнажениями,

как правило, издают специфический запах «старой конюшни» из-за разлагающейся органики [2,6]. В зарубежной литературе принят термин «yedoma», обозначающий особый тип сильнольдистых отложений с сингенетическими повторно-жильными льдами. [10]

Распространение глинистых едомных толщ

Наиболее известными районами севера России, где распространены едомные толщи, являются Колымская и Яно-Индигирская низменности, а также Новосибирские острова и долина р. Лены и ее притоков. Обширные массивы едомы встречены на территории Лено-Анабарской, Анабаро-Хатангской областей (север Красноярского края и Якутии), на Чукотке, в Магаданской области. Небольшие массивы едом встречены и в западных районах Сибири – п-ова Ямал и Гыданский, а также Таймыр и низовья Енисея, и в более южных районах Сибири – например в долине р. Алдан, в южной Якутии – южнее 57° с.ш. – в долине р. Олекмы и ее притоков и даже южнее 55° с.ш. – в верховьях рр. Уды, Бирюсы, Гутары.

Анализ гранулометрического состава едомных отложений Сибири и Аляски выполненный более чем в 770 образцах из 23 едомных массивов показал [11], что супесчано-суглинистые грунты заметно преобладают над глинистыми и песчаными (рис. 1).

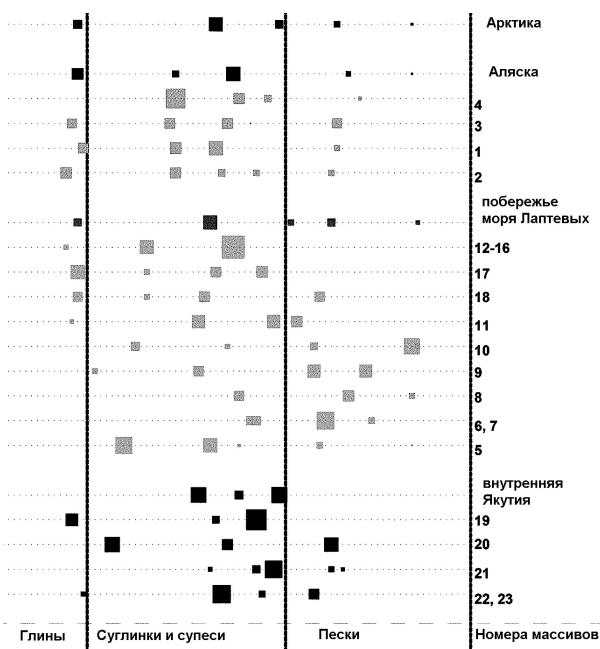


Рис. 1. Гранулометрический состав едомных отложений Сибири и Аляски в 23 едомных массивах (по [11]): 1 – Колвилл (северный склон г. Де Лонг); 2 – Иткиллик; 3 – п-ов Сьюарда (р. Кетлэк); 4 – Волт Крик тоннель; 5 – мыс Мамонтов Клык; 6-7 – о-ва Эбесисе и Харданг; 8 – о-в Курунгнах; 9 – Быковский п-ов; 10 – о-в Муостах; 11 – п-ов Буор Хая; 12-16 – Новосибирские о-ва; 17 – о-в Большой Ляховский; 18 – Ойгосский Яр; 19 – Дуванный Яр; 20 – Кыталык (р. Берелёх); 21 – Батагайский мегапровал; 22-23 – Табага и Юкэчи

Наиболее интересными, изученными авторами на севере России являются разрезы едомного комплекса, сложенные преимущественно глинистыми, суглинистыми и супесчаными грунтами, вскрытые в обнажениях повторно-жильного комплекса у пос. Сеяха (высота более 20 м), едомы у пос. Зеленый Мыс (высота обнажения более 40 м), Дуванный Яр (высота около 55 м), едомы Бизон (высотой до 15 м), Станчиковский Яр

(высота около 35 м), Батагайский мегапровал (высота более 75 м), и Ледовый Обрыв (высота более 25 м) в долине р. Майн.

В Западной Сибири едомные толщи изучены на Ямале в Сеяхинском позднеплейстоценовом сингенетическом повторно-жильном комплексе, который обнажается вдоль побережья Обской губы на протяжении более 4 км, высота его от 22 до 24 м. Грунтовая толща в верхней части обнажения представлена мощной пачкой желтого слоистого песка, залегающего на супесях с прослойями торфа (рис. 2).



Рис. 2. Сеяхинская макроцикличитная едома, сложенная сверху песком (а), подстилаемым супесью с прослойями аллохтонного торфа (б)

В криолитологическом строении этого разреза четко выделяются два макроцикла развития жил и соответствующие им две части разреза: верхняя 9-12-метровая часть характеризуется наличием узких ледяных жил шириной до 1,5-2 м, и нижняя 12-15-метровая с обильным содержанием органики, с полигонально-жильными льдами позднеплейстоценового возраста шириной до 3 м.

Авторами неоднократно исследовались разрезы Омолоно-Ануйская едомы, занимающей площадь более чем 1000 км². Уникальный разрез этой едомы более 60 лет вскрыт в обнажении Дуванный Яр в низовьях Колымы (рис. 3).

Протяженность этого обнажения, высотой более 55 м, вдоль правого берега р. Колымы, составляет более 10 км. Состав отложений изменяется от глин до песка и торфа. Несколько ярусов ледяных жил, по вертикали пронизывают всю толщу едомы [\[3\]](#).



Рис. 3. Дуванноярская макроцикличитная едома, сложенная преимущественно глинистыми грунтами



Рис. 4. Едома в разрезе Бизон, сложенная преимущественно супесью и суглинками

Разрез Бизон (рис. 4) представлен преимущественно супесчаными отложениями. В цирке высотой около 20 м обнажаются сингенетические ледяные жилы вертикальной мощностью до 9 м, шириной в верхней части до 2-2,5 м.^[2]

Авторы исследовали разрез едомных и отложений, расположенный на окраине поселка Черский, в 300 м ниже от пристани на правом берегу р. Колымы. Здесь вскрыта едомная вкладка, вложенная в доплейстоценовые скальные породы. Отложения представлены тяжелой темно-серой супесью с незначительным содержанием органики. Высота обнажения 20-25 м. На глубине 1-1,5 м вскрыты ледяные жилы. Они сравнительно узкие, шириной во фронтальном срезе не более 1 м.^[5]

Описанные авторами, едомные разрезы в долине р. Майн преимущественно опесчанены, особенно Усть-Алганский и озерный разрез Ледового обрыва,^[4] однако среди них встречаются и толщи представленные более тонкодисперсными грунтами (сильно пылеватыми песками и супесями) - это едомная толща Ледового обрыва,^[12] а Р.С. Шухвостовым с соавторами^[7] на правом берегу р. Анадырь, в ее среднем течении в 12 км выше устья р. Майн описаны 3 новых разреза едомных толщ, сложенных тонкими песками, часто с высокой долей супесей.

Среди едомных разрезов, изученных в долине р. Индигирка и ее притоков: Уяндина, Тирехтях, Бадяриха, Огороха преобладают тонкослоистые темно-серые супеси, встречаются легкие суглинки, мощностью 20-30 м, содержащие циклитно залегающие мощные сингенетические ледяные жилы.^[8]

Т.Опель с коллегами в составе совместной российско-немецкой экспедиции обследовали известное обнажение Ойгосский Яр, на берегу пролива Дмитрия Лаптевых.^[9] Типично едомные отложения в разрезе представлены серо-коричневыми опесчаненными супесями и суглинками с включениями торфа, которые состоят из захороненных криогенных почв, фрагментов веток, корней растений и мелкого, рассеянного растительного дегрита. Сингенетические повторно-жильные льды имеют вертикальную протяженность более чем 20 м и ширину более 3 м. В соответствии с радиоуглеродными датировками едомный ледовый комплекс был образован, примерно от 49,4 до 36,3 тыс. лет назад. Огромный разброс величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ порового и сегрегационного льда внутри едомного ледяного комплекса отражает, преимущественно вторичные процессы фракционирования, а не различающиеся климатические условия.^[9]

С. Веттерихом с соавторами^[14,15] исследованы криостратиграфия и изотопный состав

более чем в 500 образцах едомного повторно-жильного льда на острове Собо-Сисе в дельте Лены. Три профиля отложений были отобраны в непосредственной близости друг от друга, чтобы охватить весь разрез многолетнемерзлых пород с разрешением 0,5 м. Первый профиль охватывает самую верхнюю часть обнажения между 24,2 и 15,5 метрами, датируемую от 2440 до 27 540 кал. лет. Второй профиль - соседнее обнажение полигона было отобрано между 18,8 и 10,2 м., датируемым от 25 680 до 40 840 кал. лет. Третий - самый нижний профиль отобран примерно в 120 м к востоку между 13,4 и 0,8 м., он датирован от 41 420 до более 50 000 кал. лет. [\[14,15\]](#) Авторы пришли к заключению, что едома образованная во время МИС 3 с преобладанием супеси и мелкого песка образовалась, главным образом, в результате процессов пойменного режима накопления аллювиальных отложений или/и талого стока, но, возможно, также включает эоловый компонент. [\[14\]](#)

А.В.Бартова [\[1\]](#) исследовала преимущественно суглинистые едомные толщи на трёх участках Колымской низменности – на побережье Восточно-Сибирского моря и на реках Малый и Большой Анюй. Близ побережья в восточной части участка, на реке Неккеивеем, едома перекрывает неогеновую кору выветривания – голубовато-зелёные глины с округлыми «стяжениями», уплотняющимися к центру (до щебня зеленовато-серых песчаников, при разрушении которых, вероятно, и образовалась эта кора выветривания). В обрывах на берегу Восточно-Сибирского моря под суглинками едомной толщи залегают гравий и галечники, считающиеся аллювием. Едома в разрезах на побережье представляет собой плотные, мёрзлые, коричневато-серые супеси и суглинки, с неясной либо с тонкой линзовидной слоистостью, с линзами и прослоями торфа, пылеватых песков, обилием растительного детрита, зёрнами вивианита и ярко-синей минерализацией по контакту с органическими остатками. В обнажениях в низовьях Колымы, на реках Малый и Большой Анюй (Молотковский камень, Красивое, Станчиковский Яр) наблюдалось [\[1\]](#) схожее строение: два уровня супесей и суглинков и разделяющий их торфяной горизонт. Верхние супеси и суглинки оторфованы, горизонтальная слоистость их подчёркивается прослоями и линзами торфа мощностью от первых миллиметров до первых сантиметров, с включениями растительных (древесных) остатков. Мощность толщи более 10 м. Торфяной горизонт представлен слоистым торфом с остатками травянистой и древесной растительности. В некоторых разрезах по простиранию торфяной слой замещается оторфованными супесями и суглинками либо переслаиванием супесей и суглинков и торфов, с концентрацией на этом уровне остатков древесной растительности. Мощность до 2 м. Нижние супеси и суглинки – серые, на свежем срезе голубоватые, с тонкой (первые миллиметры) линзовидной слоистостью за счет чередования более светлых и более тёмных слойков (более светлые соответствуют более крупным, иногда песчанистым супесям и суглинкам, более тёмные – более мелким), с включениями линз торфа, с рассеянными по слою растительными остатками (в основном стебли травянистых растений), с ярко-синими зернами вивианита и такой же минерализацией по контакту с органическими включениями. Мощность слоя более 20 м. Во всех наблюдавшихся разрезах обнажаются повторно-жильные льды, в большинстве случаев они приурочены к «верхним» супесям и суглинкам. Видимая «высота» повторно-жильных льдов 4,5-5 м. [\[1\]](#)

Авторами исследованы сингенетические повторно-жильные льды в толще склоновой едомы в предгорье хребта Кулар в долине руч. Бургут. Абсолютные отметки подошвы едомы колеблются от 95 м у ручья до 110–120 м в верхней части склона, а кровли – от 105 до 140 м. В разрезе встречаются как мощные сингенетические повторно-жильные льды, пронизывающие всю толщу, так и циклитные многоярусные повторно-жильные

льды. Всего прослеживается три-четыре яруса ледяных жил, шириной до 3-3,5 м. Залегают они в толще супеси, содержащей мощные прослои торфа.[\[13\]](#)

Едома, сложенная преимущественно щебнем с супесчаным и суглинистым заполнителем

Существенно отличается гранулометрический состав склоновых едомных отложений в долине р. Утиная, правого притока р. Колымы в её верхнем течении – на абсолютных высотах 330–335 м.[\[6\]](#) Обнажение представляет собой фестончатый ряд обрывов высотой 3–4 м, со значительным содержанием в толще неокатанного щебня величиной 10–12 см (рис. 5), остатков растений и древесины. В этой толще вскрыты повторно-жильные льды мощностью около 4 м, шириной 1,8–2 м.



Рис. 5. Едома в долине р. Утиная, сложенная преимущественно щебнем с супесчаным и суглинистым заполнителем

Едома с крупнообломочным материалом обнаружена как в самых северных широтах (о-ва Большевик и Элсмир) севернее 80° с.ш., так и далеко на юг в Западном Саяне и Забайкалье южнее 55° с.ш.[\[6\]](#)

Инженерно-геологические свойства едомных массивов с включениями гравия и галечников или дресвы и щебня существенно влияют на освоение территорий. Это особенно ярко проявилось при сооружении высокоскоростных шоссе в штате Аляска (США), добыче россыпного золота в Магаданской области, Якутии и на Клондайке.

Выводы

1. Глинистые отложения (супеси, суглинки) являются наиболее часто встречающимся типом осадков, слагающим едомные толщи.
2. Среди глинистых едомных разрезов чаще всего встречаются циклитно располагающиеся повторно-жильные льды, головы которых (или выраженные боковые "плечики") приурочены к прослоям аллохтонных (реже автохтонных) торфяников.
3. Склоновые глинистые едомы нередко содержат включения гравия и галечников или дресвы и щебня.

Библиография

1. Бартова А.В. Ещё немного о едоме Северо-Востока // *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. Вып. 9. 2022. С. 17-21. doi:10.24411/2687-1092-2019-10503. EDN: MQTNZI
2. Васильчук Ю.К. *Повторно-жильные льды: гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность*. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. – 404 с. EDN: VPDWDP
3. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Сулержицкий Л.Д., Буданцева Н.А., Кучера В., Ранк Д., Чижова Ю.Н. Возраст, изотопный состав и особенности формирования позднеплейстоценовых синкриогенных повторно-жильных льдов Дуванного Яра // *Криосфера Земли*. 2001. № 1. С. 24-36. EDN: TOTHIY
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Типы цикличности едомных толщ в долине реки Майн, Чукотка // Арктика и Антарктика. 2019. № 2. С.34-61. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.2.29667 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29667
5. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А. Стабильные изотопы кислорода в новых разрезах едомных и голоценовых отложений поселка Черский, низовья реки Колымы // Арктика и Антарктика. 2018. № 3. С. 95-106. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27600 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27600
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Едома с включениями грубообломочных пород // *Инженерная геология*. 2023. № 2. С. 64-80.
7. Шухвостов Р.С., Школьный Д.И., Семаков В.А. Отложения ледового комплекса в среднем течение реки Анадырь // *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. 2024. Выпуск 11. С. 632-638. doi:10.24412/2687-1092-2024-11-632-638. EDN: HNNXJG
8. Chlachula J., Dyakonov V.M., Alekseev A.N., Protopopov A.V., Klimovskiy A.I., Kolesov S.D. The Central Indigirka in the Last Ice Age, North-East Arctic Siberia // *Quaternary Science Reviews*. 2025. Vol. 349:108990. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108990>.
9. Opel T., Wetterich S., Meyer H., Dereviagin A. Y., Fuchs M. C., Schirrmeister L. Ground-ice stable isotopes and cryostratigraphy reflect late Quaternary palaeoclimate in the Northeast Siberian Arctic (Oyogos Yar coast, Dmitry Laptev Strait) // *Climate of the Past*. 2017. Vol. 13. P. 587-611. doi:10.5194/cp-13-587-2017.
10. Schirrmeister L., Froese D. et al. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia. In *Encyclopedia of Quaternary Science, Second Edition*. Elias S.A., Mock C.J. (eds). Elsevier: Amsterdam. 2013. Vol. 2. С. 542-552. DOI: 10.1016/B978-0-444-53643-3.00106-0. EDN: UXJEQC
11. Schirrmeister L., Dietze E., Matthes H. et al. The genesis of Yedoma Ice Complex permafrost – grain-size endmember modeling analysis from Siberia and Alaska // *E&G Quaternary Science Journal*. 2020. Vol. 69. С. 33-53. DOI: 10.5194/egqsj-69-33-2020. EDN: DOOCME
12. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Ice wedges in the Mayn River valley and winter air paleotemperatures in the Southern Chukchi Peninsula at 38-12 Kyr BP // *Earth's Cryosphere (Kriosfera Zemli)*. 2017. Vol. XXI. No. 5. С. 24-35. DOI: 10.21782/EC1560-7496-2017-5(24-35). EDN: MRRARQ
13. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Syngenetic ice wedges and age of slope yedoma deposits of the foothills of the Kular Ridge // *Earth's Cryosphere (Kriosfera Zemli)*. 2020. Vol. XXIV. N2. С. 3-13. DOI: 10.21782/EC2541-9994-2020-2(3-13). EDN: TKUKEG ""
14. Wetterich, S., Kizyakov, A., Fritz, M., Wolter, Ju., Mollenhauer, G., Meyer, H., Fuchs, M., Aksenov, A., Matthes, H., Schirrmeister, L., Opel, T. The cryostratigraphy of the Yedoma cliff of Sobo-Sise Island (Lena delta) reveals permafrost dynamics in the central Laptev Sea coastal region during the last 52 kyr // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14, 4525-4551. DOI: 10.5194/tc-14-4525-2020.

15. Wetterich, S., Rudaya, N., Nazarova, L., Syrykh, L., Pavlova, M., Palagushkina, O., Kizyakov, A., Wolter, J., Kuznetsova, T., Aksenov, A., Stoof-Leichsenring, K.R., Schirrmeyer, L., Fritz M. Paleo-Ecology of the Yedoma Ice Complex on Sobo-Sise Island (Eastern Lena Delta, Siberian Arctic) // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9, 681511. DOI: 10.3389/feart.2021.681511.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является исследование и характеристика глинистых грунтов едомных толщ.

Актуальность изучения грунтов едомных толщ не вызывает сомнения, поскольку результаты исследования этих вопросов вносят огромный вклад в науку и имеют практическую значимость. Едомные льды образуются из-за морозобойного растрескивания, которое происходит из-за резкого охлаждения грунта в начале зимы при маломощном снежном покрове. В результате образуются трещины глубиной в несколько метров, в которые весной затекает и замерзает талая вода. Вследствие многократного, из года в год, повторения этих процессов образуются так называемые повторно-жильные льды. Такие образования широко распространены на северо-востоке России и на Аляске. Формирование едомов происходило в последний ледниковый период в позднем плейстоцене (60–13 тысяч лет назад), когда среднегодовые температуры воздуха в Арктике были на 8–10°C ниже, чем сейчас. Едомные отложения вмещают мощные (высотой до 15–20 и более метров и шириной 1–3,5 м), нередко многоярусные, сингенетические повторно-жильные льды. Толщи едомного комплекса сложены не только льдонасыщенными пылеватыми супесчано-суглинистыми грунтами, но и льдонасыщенными песчаными, песчано-гравийными и даже щебнистыми грунтами. Общая занимаемая ими площадь, достигает 350 000 км².

Актуальность исследований заключается в том, что инженерно-геологические свойства едомных массивов с включениями гравия и галечников или дресвы и щебня существенно влияют на освоение территорий.

Методология исследования основана на полевом методе изучения и описания разрезов едомного комплекса. Авторами неоднократно исследовались разрезы Омолово-Ануйская едомы, занимающей площадь более чем 1000 км². Авторами также изучены на севере России разрезы едомного комплекса, вскрытые в обнажениях повторно-жильного комплекса у пос. Сеяха (высота более 20 м), едомы у пос. Зеленый Мыс (высота обнажения более 40 м), Дуванный Яр (высота около 55 м), едомы Бизон (высотой до 15 м), Станчиковский Яр (высота около 35 м), Батагайский мегапровал (высота более 75 м), и в долине р. Майн. В Западной Сибири едомные толщи изучены на Ямале в Сеяхинском позднеплейстоценовом сингенетическом повторно-жильном комплексе.

Научная новизна заключается в том, что авторами впервые изучены многие едомные комплексы. Авторами исследованы сингенетические повторно-жильные льды в толще склоновой едомы в предгорье хребта Кулар в долине руч. Бургут.

Стиль статьи – научный. Однако, структура статьи не совсем соответствует установленным требованиям журнала. Объем статьи не достигает требуемых 12 тыс. знаков, поэтому рекомендуется авторам увеличить объем статьи.

Библиография включает в себя 12 литературных источников, 5 из которых – на иностранном языке.

Выводы в статье лаконичны и передают основную мысль авторов по проведенным

результатам исследований. Авторы приходят к выводу, что глинистые отложения (супеси, суглинки) являются наиболее часто встречаемым типом осадков, слагающим едомные толщи. Среди глинистых едомных разрезов чаще всего встречаются циклично располагающиеся повторно-жильные льды, головы которых (или выраженные боковые "плечики") приурочены к прослойям аллохтонных (реже автохтонных) торфяников. Склоновые глинистые едомы нередко содержат включения гравия и галечников или дресвы и щебня.

Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на использованные литературные источники и выражении авторского мнения по изучаемой проблеме.

Рецензируемая статья будет интересна и полезна ученым и практикам в области грунтоведения, мерзлотоведения. Данная статья заслуживает внимания научного сообщества, рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после незначительной доработки.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Лавренко Н.Ю., Романюк О.Л., Рогозина Т.В. Динамика качества и результаты мониторинга содержания нефтепродуктов в воде бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.73034 EDN: RBLXRU URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73034

Динамика качества и результаты мониторинга содержания нефтепродуктов в воде бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа

Лавренко Наталья Юрьевна

ORCID: 0009-0004-4613-7077

научный сотрудник; ФГБУ Гидрохимический институт

344090, Россия, Ростовская область, г. Ростов-На-Дону, пр-т Ставки, дом, 198

✉ natuciy87@gmail.com

Романюк Оксана Львовна

ORCID: 0000-0003-1864-5045

кандидат географических наук

ведущий научный сотрудник; ФГБУ Гидрохимический институт

344090, Россия, Ростовская область, г. Ростов-На-Дону, ул. Ставки, дом, 198

✉ natuciy87@gmail.com

Рогозина Татьяна Васильевна

ORCID: 0009-0000-1747-3283

младший научный сотрудник; ФГБУ Гидрохимический институт

344090, Россия, Ростовская область, г. Ростов-На-Дону, ул. Ставки, дом, 198

✉ natuciy87@gmail.com

[Статья из рубрики "Человек, Арктика и Антарктика"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.73034

EDN:

RBLXRU

Дата направления статьи в редакцию:

15-01-2025

Аннотация: Предметом исследования является оценка современного состояния и динамика качества воды бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа за многолетний период. Особое внимание уделяется повышенному содержанию нефтепродуктов в воде рек. Подробно представлены проблемы загрязнения водных объектов региона, связанные с техногенными факторами. Рассмотрены основные источники загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами. Продолжающееся активное промышленное освоение запасов углеводородов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) является определяющим экономическим фактором региона, и, в свою очередь, обуславливает необходимость контроля изменения экологического состояния окружающей среды. В данной работе описаны факторы, оказывающие влияние на химический состав поверхностных вод. Рассмотрено формирование качества поверхностных вод ЯНАО в условиях близости холодного Карского моря и наличия многолетней мерзлоты, а также возрастающего антропогенного влияния. Выполнен анализ многолетней гидрохимической информации государственной сети наблюдений Росгидромета, позволяющий оценить изменение содержания нефтепродуктов в поверхностных водах Ямало-Ненецкого автономного округа за период 2014-2023 гг. Рассмотрены пространственно-временные изменения содержания нефтепродуктов в воде бассейнов рек Обь, Пур, Таз, Надым в 2014-2023 гг. Анализ динамики содержания в воде бассейнов рек ЯНАО нефтепродуктов в многолетнем плане выявил разнонаправленный уровень загрязненности воды. Повышенные концентрации нефтепродуктов в воде рек обусловлены как физико-географическими, гидрологическими и климатическими процессами, так и возрастанием уровня техногенного воздействия нефтегазодобывающих комплексов. Проведена оценка качества воды, основанная на величине удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), позволяющего оценить уровень загрязненности воды одновременно по широкому перечню загрязняющих веществ и показателей качества. Согласно комплексной оценке, вода бассейнов рек ЯНАО по качеству стабильна: в преобладающем большинстве лет рассматриваемого периода оценивается 4-м классом качества как «грязная». Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке эффективных природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества воды рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Ключевые слова:

бассейн р. Обь, бассейн р. Надым, бассейн р. Пур, бассейн р. Таз, нефтепродукты, качество поверхностных вод, минерализация, содержание растворенного кислорода, многолетняя тенденция, антропогенное воздействие

Введение

Исследование водных ресурсов арктического региона Российской Федерации является одним из приоритетных государственных направлений. Оно направлено на обеспечение устойчивого развития и экологической безопасности в регионе и России в целом [\[1\]](#).

Вследствие происходящих климатических изменений и возрастающего антропогенного воздействия в настоящее время Арктика находится в стадии трансформации [\[2, 3, 4\]](#). Северные регионы разрушаются легче и быстрее других, а реабилитируются десятилетиями [\[5\]](#).

Большая часть Ямало-Ненецкого автономного округа, расположенного в Арктической зоне Западно-Сибирской равнины, находится за Полярным кругом и охватывает нижнее течение р. Обь, бассейны рек Надым, Пур, Таз, входящие в нефтегазоносные районы Уральского Федерального округа [\[6-11\]](#).

Основные проблемы загрязнения водных объектов региона связаны с техногенными факторами, а именно с эксплуатацией объектов добычи и транспортировки углеводородного сырья с нарушением природоохранных требований. На Ямало-Ненецкий автономный округ ежегодно приходится более 80 % российской и 20 % мировой добычи природного газа. Основой экономики Ямала является добыча углеводородного сырья (64 % промышленного производства).

На 01 января 2024 г. на территории ЯНАО зарегистрировано 70 предприятий-недропользователей, которые производят геологическое изучение, поиски и оценку месторождений, разведку и добычу углеводородного сырья. Запасы нефти учтены по 168 месторождениям, газа — по 166 месторождениям, наиболее крупными из них являются Бованенковское, Уренгойское, Ямбургское, Заполярное, Салмановское, Тамбейское и Харампурское [\[12\]](#).

Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются сброс недостаточно очищенных стоков, утечка нефтепродуктов при добыче и транспортировке углеводородного сырья, движение и стоянка транспортных средств. При строительстве и эксплуатации газопроводов загрязняющие вещества могут поступать в водные объекты как с организованным стоком (сточными водами установок комплексной подготовки газа, газокомпрессорных станций, населенных пунктов), так и с неорганизованным (поверхностным стоком с буровых, промышленных, строительных и селитебных площадок) [\[13, 14\]](#).

Вследствие того, что большая часть коренных малочисленных народов Севера (80 %) занята рыболовством, и население обеспечивается водой из поверхностных источников, качество воды поверхностных водных объектов для территории ЯНАО имеет особое значение [\[15, 16\]](#).

Местоположение и природные условия

Реки Ямало-Ненецкого автономного округа территориально расположены в северной части Тюменской области и относятся к Нижнеобскому бассейновому округу [\[5\]](#).

Территория округа располагается в трёх климатических зонах: арктической, субарктической и умеренно континентальной (на юге). Климат определяется наличием многолетней мерзлоты, близостью холодного Карского моря, обилием заливов, рек, болот и озёр. В целом, для округа характерна длительная зима (до 8 месяцев) с бурями, морозами и частыми метелями, малым количеством осадков, короткое лето (50 дней), сильные ветры и туманы, небольшая величина снежного покрова.

Рассматриваемая территория характеризуется следующими природными зонами: тундра, лесотундра, северная и средняя тайга. Большую площадь лесотундровой зоны составляют сильно заболоченные районы. Комплексы торфяников олиготрофных и глееземов торфяных занимают 50–60 % площади. Вокруг болот распространены подзолисто-глеевые почвы (15–20 %) и глееземы торфянисто-перегнойные (10–15 %). В долинах и дельтах рек выделяются аллювиальные отложения смешанного состава (пески, суглинки), аллювиальные отложения со слоями торфа [\[17\]](#).

Поверхностные воды Ямало-Ненецкого автономного округа имеют ряд гидрохимических особенностей, отличающих их от поверхностных вод других регионов. Питание рек преимущественно снеговое, что приводит к низкой минерализации воды. Продолжительная зимняя межень сменяется высоким половодьем, пик которого приходится на июнь. Ледостав рек длится 7–8 месяцев в году. Вскрытие происходит в первой половине мая на юге, в начале июня – на севере. Все реки имеют широкие поймы, меандрирующие русла, протоки и рукава. Мелкие реки промерзают до дна [18].

Важным фактором формирования химического состава поверхностных вод является наличие на территории болот, что обуславливает специфический состав воды. Вода рек преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого и натриевого классов [19].

На состав поверхностных вод оказывают влияние особенности климата региона. По территории ЯНАО проходит южная граница криолитозоны. Здесь развиты термокарст, термоэррозия; по берегам рек, озер, заливов Карского моря развиваются криогенные оползни, солифлюкция, термоабразия [20, 21]. Преобладание стока над испарением и незначительная доля грунтовых вод в питании рек являются причиной низкого содержания минеральных веществ. Заболачиванию почв и образованию множества мелких озёр способствует многолетняя мерзлота.

Материалы и методы исследования

С целью изучения пространственно-временных изменений содержания химических веществ в поверхностных водах ЯНАО были использованы результаты многолетних (2014–2023 гг.) наблюдений, полученных режимной гидрохимической сетью Росгидромета. Качество поверхностных вод бассейнов рек Обь, Надым, Пур, Таз по гидрохимическим показателям описано с использованием метода комплексных оценок [22].

На основе анализа многолетних рядов содержания загрязняющих веществ в воде рек ЯМАО показано изменение концентраций нефтепродуктов, минерализации, растворенного в воде кислорода, а также проведена оценка качества воды, основанная на величине удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), позволяющего оценить уровень загрязненности воды одновременно по широкому перечню загрязняющих веществ и показателей качества.

Анализ результатов

Наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши на территории ЯНАО осуществляются в пределах бассейнов рр. Обь, Надым, Пур, Таз на 12 водных объектах, 15 пунктах наблюдений, 18 створах.

Существенное влияние на химический состав и качество воды бассейнов рр. Обь, Надым, Пур, Таз оказывает антропогенный фактор, вызванный активным промышленным освоением региона [12]. В течение 2014–2023 гг. ежегодно в поверхностные водные объекты ЯНАО сбрасывалось 33,62–39,50 млн. м³ сточных вод, из которых 70–90 % (20,11–29,47 млн. м³) – недостаточно очищенные, и только 4,82–15,30 млн. м³ – нормативно очищенные на очистных сооружениях, 0,59–2,13 млн. м³ – нормативно чистые (табл. 1). Так как поверхностные воды Ямало-Ненецкого автономного округа вследствие климатических особенностей и географического положения обладают низкой способностью к самоочищению, большие объемы недостаточно очищенных и

неочищенных сбросов негативно сказываются на росте содержания нефтепродуктов в воде исследуемых рек.

Таблица 1 Объемы водоотведения сточных вод в водные объекты ЯНАО за период 2014-2023 гг.

Виды сточных вод	Объемы сточных вод, млн. м ³									
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Без очистки	2,30	1,42	1,12	1,61	1,73	1,57	0,94	1,23	1,60	0,87
Недостаточно очищенная	20,11	21,67	29,47	29,46	27,59	27,45	27,90	27,36	27,34	23,85
Нормативно-очищенная	15,30	13,69	4,68	5,49	6,46	6,20	4,82	5,69	5,73	8,20
Нормативно чистая	1,79	0,69	0,90	0,60	1,53	1,75	1,78	2,13	0,59	0,70
Общий объем водоотведения	39,50	37,47	36,17	37,16	37,31	36,97	35,44	36,41	35,26	33,62

1. Бассейн р. Обь

На протяжении 2014-2023 гг. отмечена слабовыраженная тенденция к стабилизации содержания нефтепродуктов в воде р. **Обь** в районе г. Салехард: среднегодовые концентрации находились на уровне предельно допустимых значений, максимальные – в диапазоне 1-8 ПДК (рис. 1). В районе п. Горки среднегодовое содержание нефтепродуктов не превышало 5 ПДК, максимальное колебалось от 2 до 13 ПДК. Для воды р. Обь в черте с. Мужи в многолетнем плане загрязненность нефтепродуктами определялась как характерная, повторяемость случаев превышения ПДК колебалась от 57 % до 100 %, среднегодовые концентрации изменялись в широком диапазоне от 2 до 20 ПДК. Максимальные концентрации достигали уровня высокого загрязнения – 31 ПДК (2021 г.), экстремально высокого загрязнения – 50 ПДК (2014 г.), 58 ПДК (2023 г.).

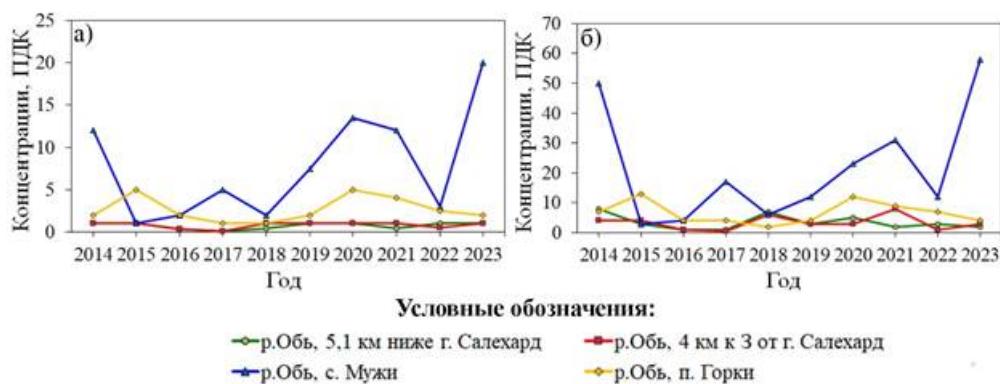


Рисунок 1. Изменение а) среднегодовых и б) максимальных концентраций нефтепродуктов в воде р. Обь

Среднегодовая минерализация воды р. Обь в течение 2014-2023 гг. изменилась в широком диапазоне от 124 мг/л до 236 мг/л. Максимальные значения фиксировали в 2014 г.: 415-507 мг/л.

Режим растворенного кислорода в воде р. Обь в районе г. Салехард, с. Мужи в течение 2014-2023 гг. можно охарактеризовать как благоприятный, в отдельные годы

наблюдались единичные случаи дефицита содержания растворенного кислорода (до 2,10-2,49 мг/л). В 2018-2019 гг. в створе 5,1 км ниже г. Салехард было зафиксировано 2 случая острого дефицита (до 1,50 мг/л).

Качество воды р. Обь в районе г. Салехард, п. Горки в течение 2014-2023 гг. стабилизировалось на уровне 4-го класса, в большинстве створов разрядов «а» и «б» («грязная» вода); ухудшаясь до разряда «в» («очень грязная» вода) в 2018 г. и 2023 г. (5,1 км ниже г. Салехард), до разряда «г» («очень грязная» вода) в 2018 г. (4 км к западу от г. Салехард). Вода реки Обь в черте с. Мужи в 2015-2016 гг., 2020-2021 гг., 2023 г. оценивалась как «очень грязная» (табл. 2).

Таблица 2. Динамика качества воды р. Обь за период 2014-2023 гг.

Водный объект	Створ	Качество воды (на основе величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ) [22]									
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
р. Обь	4 км к З от г. Салехард	4,63*	4,75	4,85	5,28	6,14	5,70	5,03	5,07	5,36	5,55
р. Обь	ниже г. Салехард	5,00	5,34	5,20	5,13	6,28	5,87	5,03	4,97	5,49	5,28
р. Обь	в черте с. Мужи	5,26	5,46	5,90	5,75	4,93	5,23	5,97	6,00	5,98	5,95
р. Обь	п. Горки	4,72	5,30	4,34	4,71	4,56	4,67	4,57	5,21	5,47	5,25

* величина УКИЗВ ■ - Грязная ■ - Очень грязная

Содержание нефтепродуктов в воде **притоков р. Обь** в многолетнем плане было разнообразным. Для р. Полуй ярко выражена стабилизация среднегодовых концентраций на уровне 1 ПДК (рис. 2 а)). Максимальные концентрации не превышали 4 ПДК, лишь в 2021 г. достигая 15 ПДК (г. Салехард, контрольный створ).

Загрязненность нефтепродуктами воды р. Собь в большинстве лет рассматриваемого периода (2014, 2016-2017, 2019, 2021-2023 гг.) являлась характерной. Повторяемость случаев превышения ПДК колебалась от 57 % до 100 %.

В 2015-2022 гг. отмечается слабовыраженная тенденция к стабилизации среднегодового содержания нефтепродуктов в воде р. Собь на уровне 3 ПДК и р. Сыня на уровне 2 ПДК, однако в 2023 г. наблюдается резкий рост до 6 и 7 ПДК соответственно. Максимальные концентрации находились в широком диапазоне 3-16 ПДК (р. Сыня) и 3-27 ПДК (р. Собь) (рис. 2 б)).

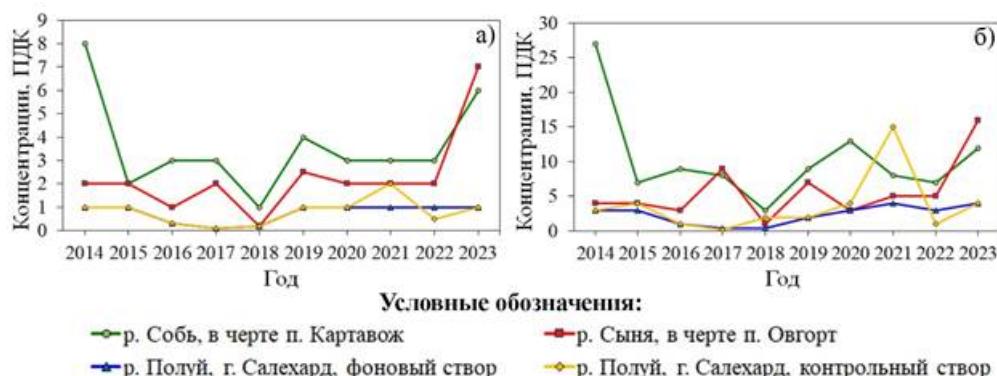


Рисунок 2. Изменение а) среднегодовых и б) максимальных концентраций нефтепродуктов в воде притоков р. Обь

Среднегодовые значения минерализации воды притоков р. Обь варьировали от 82,1 мг/л (2019 г., р. Собь) до 228 мг/л (2014 г., р. Полуй).

Режим растворенного в воде кислорода был удовлетворительным для р. Собь, наименьшие концентрации за весь рассматриваемый период наблюдений не снижались менее 6,40 мг/л. В воде рр. Сыня, Полуй содержание растворенного кислорода в большинстве лет рассматриваемого временного периода было ниже установленного норматива. В 2016-2019 гг. отмечались единичные случаи острого дефицита растворенного в воде кислорода (р. Полуй), минимальные концентрации находились в диапазоне 1,00-1,70 мг/л.

Исходя из комплексной оценки качества воды притоков р. Обь по гидрохимическим показателям, вода рр. Сыня и Собь в 2014-2023 гг. стабильно оценивалась как «грязная»; р. Полуй (фоновый створ) – 5 лет из 10-ти как «очень грязная». В 2018-2019 гг., 2021-2023 гг. отмечено некоторое ухудшение качества воды р. Полуй (контрольный створ), в результате чего вода из разряда «грязная» перешла в разряд «очень грязная» (табл. 3).

Таблица 3. Динамика качества воды притоков р. Обь за период 2014-2023 гг.

Водный объект	Створ	Качество воды (на основе величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ) [22]									
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
р. Сыня	в черте п. Овгорт	5,60*	5,09	5,64	4,55	5,05	5,06	5,61	5,25	6,20	5,25
р. Собь	в черте п. Карташов	4,79	5,29	5,34	4,52	4,48	4,67	4,18	4,61	3,94	4,35
р. Полуй	фоновый створ	5,24	5,98	5,72	5,09	6,15	5,74	5,38	6,12	5,42	6,08
р. Полуй	контрольный створ	5,24	5,48	5,44	5,09	6,35	6,01	4,91	6,16	5,58	6,04

* величина УКИЗВ █ - Грязная █ - Очень грязная

2. Бассейн р. Надым

Для рек бассейна р. Надым в большинстве лет рассматриваемого периода загрязненность нефтепродуктами определялась как характерная, повторяемость случаев превышения ПДК составляла 50–92 %.

Среднегодовые концентрации нефтепродуктов в воде бассейна р. Надым находились в широком диапазоне 1-8 ПДК. Резкий рост среднегодового содержания нефтепродуктов отмечался в 2019 г. в воде р. Хейги-Яха, в 2020 г. в воде р. Правая Хетта (рис. 3 а). Максимальные концентрации нефтепродуктов в период с 2014 г. по 2017 г. достигали 1-13 ПДК, в 2018-2023 гг. возросли до 3-25 ПДК (рис. 3 б)).

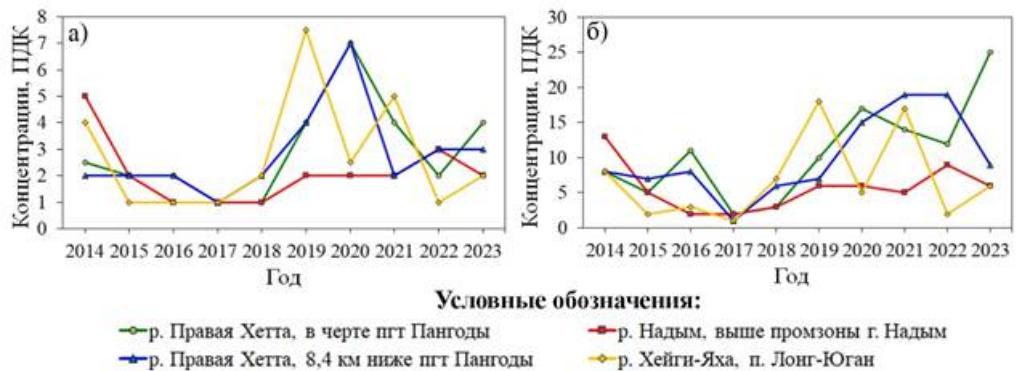


Рисунок 3. Изменение а) среднегодовых и б) максимальных концентраций нефтепродуктов в воде бассейна р. Надым

Вода рек бассейна маломинерализована. Среднегодовая минерализация воды в бассейне р. Надым в течение 2014-2018 гг. была на уровне 70,3-187 мг/л, снижаясь в 2019-2023 гг. до 41,1-72,0 мг/л.

Минимальная концентрация растворенного кислорода находилась в диапазоне: р. Правая Хетта – 3,20-5,60 мг/л, р. Хейги-Яха – 3,60-7,90 мг/л. Единичные случаи острого дефицита растворенного кислорода в воде р. Надым фиксировали в 2016 г., 2019 г., 2021-2022 гг. на уровне 1,40-1,60 мг/л.

Качество воды в бассейне р. Надым в течение многолетнего периода (2014-2023 гг.) стабилизировалось на уровне 4-го класса разрядов «а» и «б» («грязная» вода); в отдельные годы в рр. Надым (2019 г., 2021 г.) и Правая Хетта (2022 г., 2023 г.) снижаясь до разряда «в» («очень грязная» вода). В 2023 г. произошло ухудшение качества воды р. Надым, выше промзоны до 5-го класса («экстремально грязная» вода) (табл. 4).

Таблица 4. Динамика качества воды в бассейне р. Надым за период 2014-2023 гг.

Водный объект	Створ	Качество воды (на основе величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ) [22]									
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
р. Надым	выше г. Надым	4,98*	5,68	5,50	4,68	5,22	5,61	5,24	5,71	4,98	6,63
р. Правая Хетта	пгт Пангоды	4,76	5,24	5,23	5,47	5,72	4,69	5,28	5,17	6,16	5,65
р. Правая Хетта	ниже пгт Пангоды	4,85	5,51	4,98	5,12	5,29	5,13	5,13	5,54	5,90	5,76
р. Хейги-Яха	п. Лонг-Юган	4,37	3,95	4,24	3,85	4,09	4,99	4,12	4,54	5,55	5,07

* величина УКИЗВ ■ - Грязная ■ - Очень грязная ■ - Экстремально грязная

3. Бассейн р. Пур

Нефтепродукты являлись характерными загрязняющими веществами воды р. Пур (в черте пгт Уренгой) на протяжении 2014-2023 гг.; р. Пур (в черте п. Самбург) в 2014 г.,

2018-2023 гг.; р. Пяку-Пур в 2019-2023 гг.; р. Седэ-Яха в 2014-2016, 2018-2020, 2022-2023 гг., повторяемость случаев превышения ПДК которыми колебалась от 50 % до 100 %.

В бассейне р. Пур среднегодовое содержание нефтепродуктов в воде рр. Пур (в черте пгт Уренгой), Пяку-Пур, Седэ-Яха находилось в диапазоне 1-7 ПДК (рис. 4 а)). В воде р. Пур, в черте п. Самбург в течение 2014-2018 гг. среднегодовые концентрации нефтепродуктов стабилизировались на уровне 1-3 ПДК, в 2019-2022 гг. наблюдалась тенденция к увеличению содержания нефтепродуктов до 5-12 ПДК. Критического уровня загрязненности нефтепродукты достигали в воде р. Пур, в черте пгт Уренгой в 2014 г. – 49 ПДК (уровень высокого загрязнения), в черте п. Самбург в 2020, 2021, 2022 гг. – 26, 18, 29 ПДК соответственно (рис. 4 б)).

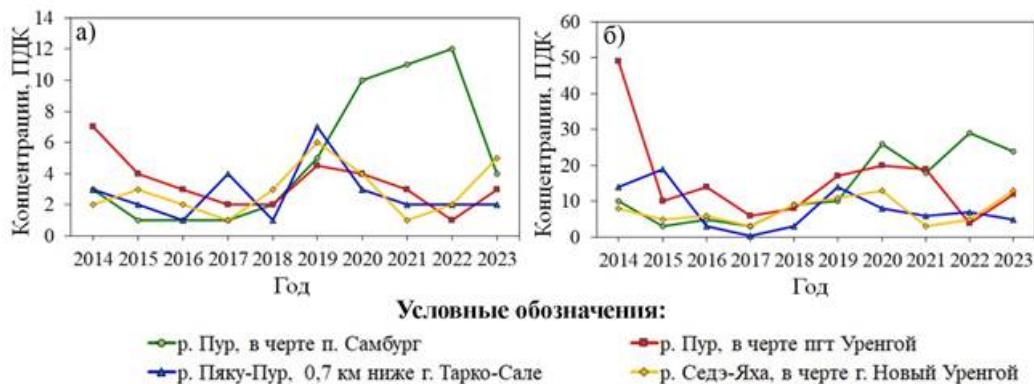


Рисунок 4. Изменение а) среднегодовых и б) максимальных концентраций нефтепродуктов в воде бассейна р. Пур

Среднегодовая минерализация воды рр. Пур, Пяку-Пур в 2014 г. была на уровне 172-298 мг/л, снижаясь в 2015-2019 гг. до 72,1-113 мг/л, в 2020-2023 гг. до 47,3-92,4 мг/л. Вода р. Седэ-Яха в бассейне р. Пур характеризовалась самой низкой минерализацией, среднегодовые значения которой в 2020-2023 гг. не превышали 29,1-44,3 мг/л.

Кислородный режим в воде р. Пур (в черте пгт Уренгой), р. Пяку-Пур был удовлетворительным. В р. Пур (в черте п. Самбург), р. Седэ-Яха в отдельные годы регистрировали единичные случаи снижения растворенного в воде кислорода ниже установленного норматива – до 3,20 мг/л.

Качество воды в бассейне р. Пур в течение 2014-2023 гг. стабильно оценивалось 4-м классом разрядов «а» и «б» («грязная» вода); в 2014 г. (р. Пур, в черте п. Самбург) и 2019 г. (р. Пур, в черте пгт Уренгой; р. Седэ-Яха) снижаясь до разряда «в» («очень грязная» вода) (табл. 5).

Таблица 5. Динамика качества воды в бассейне р. Пур за период 2014-2023 гг.

Водный объект	Створ	Качество воды (на основе величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ) [22]									
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
р. Пур	в черте пгт Уренгой	4,86*	5,08	5,44	5,01	5,57	5,62	4,27	4,75	4,55	5,24
р. Пур	в черте п.	5,61	5,41	4,43	5,13	5,22	4,90	5,44	5,14	4,20	5,50

	Самбург										
р. Пяку- Пур	г. Тарко- Сале	4,82	4,71	4,60	4,13	5,09	4,68	4,47	5,01	4,36	4,51
р. Седэ- Яха	пгт Новый Уренгой	4,54	4,98	5,04	4,49	4,10	5,86	4,86	4,33	4,72	5,06
* величина УКИЗВ ■ - Грязная ■ - Очень грязная											

4. Бассейн р. Таз

Загрязненность нефтепродуктами воды рек бассейна р. Таз в большинстве лет рассматриваемого периода определялась как характерная, повторяемость случаев превышения ПДК составляла 57-100 %.

Среднегодовое содержание нефтепродуктов в воде бассейна р. Таз варьировало в диапазоне ниже 1-8 ПДК; резкий рост отмечался в 2019 г. до 7-8 ПДК. Кроме того, в течение последних лет в воде р. Таз наметилась тенденция к увеличению среднегодовых концентраций нефтепродуктов (рис. 5 а)). Максимальные концентрации достигали: в черте с. Красноселькуп - 20 ПДК (2014 г.), 19 ПДК (2019 г.); ниже пгт Тазовский - 22 ПДК (2023 г.) (рис. 5 б)).

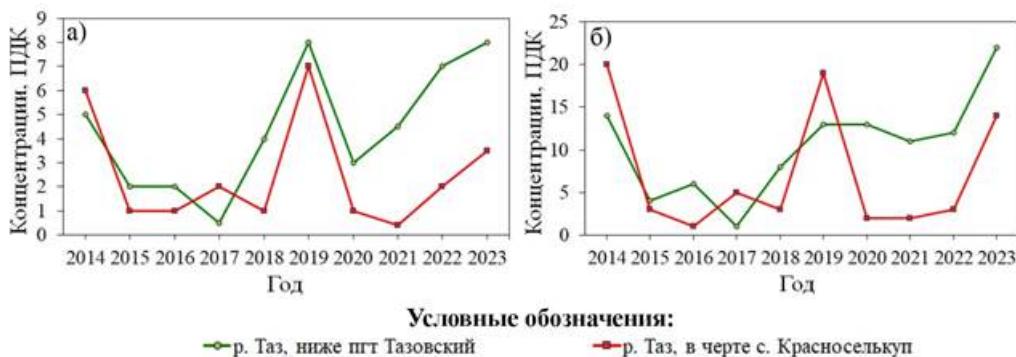


Рисунок 5. Изменение а) среднегодовых и б) максимальных концентраций нефтепродуктов в воде бассейна р. Таз

Среднегодовая минерализация воды водных объектов бассейна р. Таз в 2014 г. изменялась в пределах 185-252 мг/л, снижаясь до 89,1-169 мг/л в 2015-2023 гг. Максимальные концентрации (555 мг/л) зафиксированы в 2014 г. в воде р. Таз, в черте с. Красноселькуп.

Содержание растворенного кислорода в большинстве рассматриваемых лет было ниже установленного норматива, минимальные концентрации находились в диапазоне 3,10-5,80 мг/л; в 2019 г. в черте с. Красноселькуп наблюдался единичный случай острого дефицита - 1,50 мг/л.

Качество воды р. Таз в течение всего рассматриваемого периода во всех створах оценивалось 4-м классом разрядов «а» и «б» («грязная» вода) (табл. 6).

Таблица 6. Динамика качества воды в бассейне р. Таз за период 2014-2023 гг.

Водный объект	Створ	Качество воды (на основе величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ) [22]									
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
р. Таз	в черте с.	4.91*	5.02	4.23	4.37	4.40	4.77	4.17	4.61	4.01	4.47

		Красноселькуп										
р. Таз	ниже пгт Тазовский	5,08	5,27	4,63	4,28	5,23	5,15	4,55	5,14	4,44	5,34	

* величина УКИЗВ  - Грязная

Вероятнее всего, повышенные концентрации нефтепродуктов в воде рек Надым, Пур, Таз, приусьевых участков Оби (п. Горки – г. Салехард), обусловлены возрастанием уровня антропогенной нагрузки нефтегазодобывающих комплексов, что совпадает с мнениями ряда исследователей [7, 23, 24, 25]. Необходимо отметить, что под воздействием нефтепродуктов, поступающих в водные объекты на территории Ямало-Ненецкого округа, практически полностью утратила рыбохозяйственное значение р. Надым. На грани полной утраты нерестового значения находятся рр. Пур и Собь [26].

Выводы

Анализ динамики содержания в воде бассейнов рек ЯНАО нефтепродуктов в многолетнем плане выявил разнонаправленный уровень загрязненности воды: отмечена стабилизация средних концентраций в воде р. Обь (г. Салехард), р. Полуй на уровне предельно допустимых концентраций; рр. Сыня и Собь – на уровне 2-3 ПДК. В бассейнах р. Пур (г. Самбург) в 2019-2022 гг., р. Таз в последние годы наблюдается увеличение среднегодовых концентраций нефтепродуктов. Максимальные концентрации достигали уровня высокого загрязнения – 31 ПДК (2021 г. – р. Обь, с. Мужи), 49 ПДК (2014 г. – р. Пур, в черте пгт Уренгой); экстремально высокого загрязнения – 50 ПДК (2014 г.), 58 ПДК (2023 г.) – р. Обь, с. Мужи. В течение всего изученного периода (2014-2023 гг.) в воде р. Обь (с. Мужи), р. Пур загрязненность нефтепродуктами являлась характерной. В бассейнах рек Надым, Таз в большинстве рассматриваемых лет повторяемость случаев превышения ПДК нефтепродуктами колебалась от 50 % до 100 %.

Поверхностные воды автономного округа вследствие преимущественно снегового питания и преобладания торфяно-болотистых почв характеризуются низкой минерализацией. В воде бассейна р. Обь среднегодовые значения минерализации в течение исследуемого периода находились в диапазоне 82,1-236 мг/л; бассейнов рр. Надым, Пур в 2020-2023 гг. снижались до 41,1-92,4 мг/л; бассейна р. Таз – 89,1-169 мг/л. Очень малой минерализацией (29,1-44,3 мг/л) отличается вода р. Седэ-Яха.

Режим растворенного кислорода в воде рр. Обь, Собь, Пур, Пяку-Пур был благоприятным. В воде рр. Сыня, Полуй, Правая Хетта, Таз содержание растворенного кислорода в большинстве лет рассматриваемого временного периода было ниже установленного норматива. Единичные случаи острого дефицита растворенного кислорода отмечались в воде р. Обь (2018-2019 гг.), р. Полуй (2016-2019 гг.), р. Надым (2016, 2019, 2021-2022 гг.), р. Таз (2019 г.), минимальные концентрации находились в диапазоне 1,00-1,70 мг/л.

Согласно результатам комплексной оценки многолетней гидрохимической информации за период 2014-2023 гг. вода бассейнов рек ЯНАО по качеству стабильна: в преобладающем большинстве лет рассматриваемого периода оценивалась 4-м классом качества, разрядов «а» и «б» как «грязная»; в р. Обь (с. Мужи), р. Полуй – разрядов «в» и «г» как «очень грязная»; в 2023 г. в р. Надым, выше промзон – 5-м классом как «экстремально грязная».

Мониторинг многолетней гидрохимической информации по содержанию нефтепродуктов и комплексная оценка качества поверхностных вод бассейнов рек ЯНАО свидетельствуют о

высоком уровне загрязненности воды бассейнов рр. Обь (нижнее течение), Надым, Пур, Таз. Антропогенное воздействие на состояние водных источников оказывают предприятия по разработке месторождений нефти и газа, ежегодные сбросы недостаточно очищенных стоков. Климатические условия и географическое положение обуславливают пониженную устойчивость природных экосистем к техногенным воздействиям, низкую способность к самоочищению.

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке эффективных природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества воды рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Библиография

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год / ред. Г. М. Черногаева. Москва: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2023. 189 с.
2. Решетняк О. С., Косменко Л. С., Даниленко А. О. Тенденции изменчивости антропогенной нагрузки на устьевых участках рек арктической зоны России // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, Ростов-на-Дону, 22–24 сентября 2020 года. Часть 1. – Ростов-на-Дону: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт», 2020. С. 129-133.
3. Лихачева Э. А., Чеснокова И. В., Кошкарев А. В., Некрасова Л. А., Морозова А. В. Методы и результаты экологогеоморфологического анализа Арктической зоны Российской Федерации // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны: Расширенные тезисы докладов, Москва, 25–27 ноября 2020 года / Институт глобального климата и экологии имени академика Израэля Ю. А. Институт географии РАН. – Москва: Институт глобального климата и экологии имени академика Израэля Ю. А., 2020. С. 300-303.
4. Магрицкий Д. В., Фролова Н. Л., Агафонова С. А., Киреева М. Б., Чалов Р. С., Ефимова Л. Е., Юмина Н. М., Сазонов А. А., Банщикова Л. С. Традиционные и новые гидрологические риски в Арктической зоне Российской Федерации // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны: Расширенные тезисы докладов, Москва, 25–27 ноября 2020 года / Институт глобального климата и экологии имени академика Израэля Ю. А. Институт географии РАН. – Москва: Институт глобального климата и экологии имени академика Израэля Ю. А., 2020. С. 253-257.
5. Ежегодник «Качество поверхностных вод Российской Федерации за 2023 год» / ред. М. М. Трофимчук. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2024. 426 с.
6. Иванов Ю. К., Бешенцев В. А. Палеогеографические аспекты формирования химического состава пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа// Литосфера, 2005, № 4. С. 188-196.
7. Лобченко Е. Е., Минина Л. И., Ничипорова И. П., Лавренко Н. Ю. Оценка динамики качества поверхностных вод Ямало-Ненецкого автономного округа // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Москва, 20–22 марта 2017 года / ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». – Москва: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2017. С. 518-520.
8. Решетняк О. С., Брызгало В. А., Косменко Л. С. Региональные особенности высокого уровня загрязненности рек Обь-Иртышского бассейна // Вода: химия и экология, 2013, № 6. С. 3-9.

9. Никаноров А. М., Брызгало В. А., Косменко Л. С., Даниленко А. О. Реки материковой части Российской Арктики. Ростов н/Д.: Изд-во Южн. фед. ун-та, 2016. 276 с.
10. Решетняк О. С., Даниленко А. О., Косменко Л. С., Кондакова М. Ю. Тенденции изменчивости химического состава речных вод Западно-Сибирской части Арктической зоны России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2019, № 3(203). С. 70-79.
11. Кондакова М. Ю., Даниленко А. О., Косменко Л. С. Изменчивость степени загрязненности речных вод и состояния водных экосистем в бассейне Р. Обь // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества: Материалы III всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15-17 ноября 2023 года. – Москва: Институт глобального климата и экологии имени академика Израэля Ю. А., 2023. С. 244-248.
12. Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2023 году» / Департамент природных ресурсов и экологии ЯНАО – Салехард, 2024. 65 с.
13. Уварова В. И. Оценка химического состава воды и донных отложений р. Надым // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтования, 2011. С. 143-153.
14. Ежегодник «Качество поверхностных вод Российской Федерации за 2022 год» / ред. М. М. Трофимчук. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2023. 447 с.
15. Дерягина С. Е. Поверхностные воды в границах Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа: характеристика, экологические аспекты / С. Е. Дерягина, О. В. Астафьева // Проблемы региональной экологии. – 2018, № 1. С. 37-41.
16. Magritsky D. V., Frolova N. L., Pakhomova O. M. Potential hydrological restrictions on water use in the basins of rivers flowing into Russian Arctic seas – Geography, environment, sustainability, 2020. Vol. 2, pp. 25-34. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-59.
17. Михайлов И. С., Михайлов С. И. Опыт создания и содержание почвенно-экологической карты Ямало-Ненецкого автономного округа // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 87. С. 55-72.
18. Самойлова Г. С., Чистякова Н. Ф., Горячко М. Д., Фёдорова Н. В., Прокинова А. Н., Павлинов П. С. ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ // Большая российская энциклопедия. Том 35. Москва, 2017. С. 698-701.
19. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа / под ред. С. И. Ларина. – Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 154 с.
20. Weiss N., Kaal J. Characterization of labile organic matter in Pleistocene permafrost (NE Siberia), using Thermally assisted Hydrolysis and Methylation (THM-GC MS) // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 117. pp. 203-213. <https://doi.org/10.5194/bg-17-361-2020>.
21. Иванов А. И., Мерейдо В. А., Прокопьева К. Н., Тарбеева А. М., Колесников Р. А., Чалов С. Р. Современные условия гидрологических процессов малых рек юга Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 3. (120). С. 52-75.
22. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб: Гидрометеоиздат, 2003. 49 с.
23. Уварова В. И. Оценка химического состава воды и донных отложений р. Надым. // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтования, 2011. С. 143-153.
24. Гурлев И. В., Макоско А. А., Малыгин И. Г. Экологические проблемы Арктической зоны России на примере Ямало-Ненецкого автономного округа // Арктика: экология и экономика, 2024. Т. 14, № 3. С. 370-383.
25. Лавренко Н. Ю. Результаты мониторинга качества воды бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа / Н. Ю. Лавренко, О. Л. Романюк, Т. В. Рогозина //

Комплексные исследования водохранилищ и их водосборов : Сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения Ю. М. Матарзина. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2024. С. 124-129.
26. Динамика качества воды крупных речных бассейнов Российской Федерации. / ред. Минина Л. И. – Ростов-на-Дону, 2015. 47 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования в данной работе является мониторинг и оценка качества воды в бассейнах рек Ямalo-Ненецкого автономного округа по содержанию нефтепродуктов. В связи с этим, по мнению рецензента, целесообразно скорректировать название статьи, например: «Мониторинг и оценка качества воды в бассейнах рек Ямalo-Ненецкого автономного округа по содержанию нефтепродуктов».

Методология исследования основана на изучении и анализе пространственно-временных изменений содержания химических веществ в поверхностных водах по данным результатов многолетних наблюдений за 2014-2023 гг., полученных режимной гидрохимической сетью Росгидромета. Качество поверхностных вод бассейнов рек Обь, Надым, Пур, Таз по гидрохимическим показателям описано с использованием метода комплексных оценок.

Актуальность исследования достаточно хорошо представлена в статье. Автор пишет, что «вследствие происходящих климатических изменений и возрастающего антропогенного воздействия, в настоящее время Арктика находится в стадии трансформации. Северные регионы разрушаются легче и быстрее других, а реабилитируются десятилетиями. Исследование водных ресурсов арктического региона Российской Федерации является одним из приоритетных государственных направлений. Оно направлено на обеспечение устойчивого развития и экологической безопасности в регионе и России в целом. Проблемы загрязнения водных объектов Ямalo-Ненецкого автономного округа связаны с техногенными факторами, а именно с эксплуатацией объектов добычи и транспортировки углеводородного сырья с нарушением природоохранных требований. Основой экономики Ямала является добыча углеводородного сырья. Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются сброс недостаточно очищенных (у автора ошибка: недостаточно неочищенных) стоков, утечка нефтепродуктов при добыче и транспортировке углеводородного сырья». В связи с этим, весьма актуальным является изучение вопроса качества воды в бассейнах рек Ямalo-Ненецкого автономного округа по содержанию в ней нефтепродуктов.

Стиль статьи - научный, однако ее структура не совсем соответствует установленным требованиям журнала. Рецензируемая статья включает в себя разделы: введение, местоположение и природные условия, материалы и методы исследования, анализ результатов, выводы, библиография. В статье отсутствуют элементы новизны исследований.

В выводах автор ссылается на «мнения ряда исследователей», хотя должен в них отражать только собственные умозаключения на основании проведенных исследований. Выводы в статье должны быть более конкретные, аргументированные и утвердительные без сомнительных формулировок: «Вероятнее всего, повышенные концентрации нефтепродуктов в воде рек Надым, Пур, Таз, приустьевых участков Оби (п. Горки – г. Салехард), обусловлены возрастанием уровня антропогенной нагрузки нефтегазодобывающих комплексов, что совпадает с мнениями ряда исследователей [4,

14, 15, 16]». Эти размышления автора можно отнести в раздел «Результаты и их обсуждение».

В связи с этим, автору рекомендуется доработать статью, согласно предъявляемым требованиям.

Библиография статьи включает в себя 16 источников, отсутствуют источники на иностранном языке.

Научная статья имеет важную практическую значимость, так как результаты проведенных исследований могут быть использованы в дальнейшем при разработке эффективных природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества воды рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Данная статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по утверждению автора, динамика качества и результаты мониторинга содержания нефтепродуктов в воде бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа.

Методология исследования исходя из анализа статьи можно сделать вывод о том, что с целью изучения пространственно-временных изменений содержания химических веществ в поверхностных водах ЯНАО были использованы результаты многолетних (2014-2023 гг.) наблюдений, полученных режимной гидрохимической сетью Росгидромета поверхностных вод бассейнов рек Обь, Надым, Пур, Таз по гидрохимическим показателям с использованием метода комплексных оценок. На основе анализа многолетних рядов содержания загрязняющих веществ в воде рек ЯМАО показано изменение концентраций нефтепродуктов, минерализации, растворенного в воде кислорода, а также проведена оценка качества воды, основанная на величине удельного комбинаторного индекса загрязненности воды, позволяющего оценить уровень загрязненности воды одновременно по широкому перечню загрязняющих веществ и показателей качества. Автором также использовался метод литературного анализа, сравнительных характеристик объектов и процессов алгоритмического и математического моделирования.

Актуальность затронутой темы связано с тем, что исследование водных ресурсов арктического региона Российской Федерации является одним из приоритетных государственных направлений. Оно направлено на обеспечение устойчивого развития и экологической безопасности в регионе и России в целом. Большая часть Ямало-Ненецкого автономного округа, расположенного в Арктической зоне Западно-Сибирской равнины, находится за Полярным кругом и охватывает нижнее течение р. Обь, бассейны рек Надым, Пур, Таз, входящие в нефтегазоносные районы Уральского Федерального округа. Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются сброс недостаточно очищенных стоков, утечка нефтепродуктов при добыче и транспортировке углеводородного сырья, движение и стоянка транспортных средств.

Научная новизна заключается в том, что автор статьи на основе проведенных исследований по сопоставлению результатов анализа образцов проел анализ динамики содержания в воде бассейнов рек ЯНАО нефтепродуктов в многолетнем плане и выявил разнонаправленный уровень загрязненности воды. Мониторинг многолетней гидрохимической информации по содержанию нефтепродуктов и комплексная оценка

качества поверхностных вод бассейнов рек ЯНАО свидетельствуют о высоком уровне загрязненности воды бассейнов рр. Обь (нижнее течение), Надым, Пур, Таз. Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке эффективных природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества воды рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Стиль, структура, содержание стиля изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, рисунки, таблицы и графики иллюстративны уместны.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволяющие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.

Англоязычные метаданные

On the question of the origin of the subethnic group of Russian Arctic old-timers of Yakutia

Antonov Egor Petrovich

PhD in History

Senior Researcher; Department of History, Institute for Humanitarian Studies and Problems of Indigenous Peoples of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

41/3 Dzerzhinskiy str., sq. 85, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677009, Russia

✉ Antegor@yandex.ru



Abstract. For the first time, the article identifies three stages in historiography on the topic of Russian settlement of the Arctic part of Yakutia: pre-revolutionary, Soviet and post-Soviet. The first of them was dominated by the idea of the resettlement of Russians by the Northern Sea Route from Pomerania to Indigirka. The second stage is characterized by the finds of the remains of a trade and fishing expedition of the XVII century on Taimyr, which proved the existence of ancient traditions of northern navigation. In the third period, evidence of the liquidation of the Russo-Georgian archive appeared, and works on the migration of Russians by the Northern Sea Route began to be evaluated as "local patriotic discourse". For the first time, documents from the United States prove the complex nature of the genesis of Russians in the Arctic occurred by sea and land, as well as assimilation with indigenous peoples. The methodological basis of the study was the civilizational approach, since the genesis of the Russian old-timers of the Arctic was associated with the formation of their ethnocultural characteristics. In the pre-revolutionary period, based on folklore data and the Russo-Georgian archive, the question of Russian migration by sea from Pomerania to Yakutia was first raised. During the Soviet period, the discovery of the remains of a 17th-century commercial and fishing expedition on the Taimyr testified to the existence of ancient shipping traditions in Eastern Siberia. The genesis of historical legends began to be considered as the result of litigation over fishing areas between indigirschi and Yakuts. The absence of archival documents on the voyages of the Pomors along the Northern Sea Route was noted and it was said about the flight of the ancestors of the indigirschi from the epidemic from the south to the north. Russian Russian migration route in the post-Soviet period began to be regarded as not an academic, but a local patriotic discourse, the desire to increase their social status, turning them from "not quite Russian" into "the most Russian". The formation of Russian subethnoses occurred due to migration waves by the Northern Sea Route and the Cossack explorers of the XVII century. Indigenous peoples played a decisive role in the emergence of the Russian Arctic old-timers of Yakutia. Also, for the first time, archival documents introduced here in the United States support the conclusions about the centuries-old experience of Pomeranian sailors. The combination of oral traditions, archaeological data and archival materials confirm the guess about the multi-component nature of the origin of the Russian Arctic old-timers of Yakutia.

Keywords: indigenous surnames, kochi, Kasilov, Pomorye, Pokhodsk, Russkoe Ustye, Russian Arctic old-timers, origin, Ivan the Terrible, Novgorod

References (transliterated)

1. Belov M.I. Semen Dezhnev / M.I. Belov. – M.: Izd-vo "Morskoi trasport", 1955. – 155 s.
2. Birkengof A.L. K voprosu o drevnei "Novgorodskoi kolonii" na Alyaske / A.L. Birkengof // Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo obshchestva. – 1967. – Tom 99. – Vyp. 4. – Iyul'-avgust. – S. 301-307.
3. Birkengof A.L. Potomki zemleprokhodtsev. Vospominaniya-ocherki o russkikh porechanakh nizovbev i del'ty reki Indigirki. Otv. red. Yu.B. Simchenko / A.L. Birkengof. – M.: Mysl', 1972. – 222 s.
4. Butsinskii P.N. Zaselenie Sibiri i byt pervykh ee nasel'nikov / P.N. Butsinskii. – M.: Veche, 2012. – 320 s.
5. Vakhtin N.B., Golovko E.V., Shvaitser P. Russkie starozhily Sibiri. Sotsial'nye i simvolicheskie aspekty samosoznaniya / N.B. Vakhtin, E.V. Golovko, P. Shvaitser. – M.: Novoe izdatel'stvo, 2004. – 292 s.
6. Vize V.Yu. Morya sovetskoi Arktiki. Ocherki po istorii issledovaniya / V.Yu. Vize. – M., L.: Izd-vo Glavsevmorputi, 1948. – 496 s.
7. Gurvich I.S. Etnicheskaya istoriya Severo-Vostoka Sibiri. Otv. red. B.O. Dolgikh / I.S. Gurvich. – M.: Nauka, 1966. 269 s.
8. Zenzinov V.M. Starinnye lyudi u kholodnogo okeana. Russkoe Ust'e Verkhoyanskogo okruga Yakutskoi oblasti. Izd-e 2, ispr. i dop. repr. izd. / V.M. Zenzinov. – M.: Tipografiya P.P. Ryabushinskogo, 1914 (Yakutsk, 2013). – 140 s.
9. Markov S.N. Kostroma i Tikhii okean / S.N. Markov // Vokrug sveta. – 1949. – № 8. – S. 13-16.
10. Okladnikov A.P. Russkie polyarnye morekhody XVII v. u beregov Taimyra. Izd-e vtoroe, ispr. i dop. / A.P. Okladnikov. – M.: Izd-vo "Morskoi transport", 1957. – 120 s.
11. Okladnikov A.P., Vasil'evskii R.S. Po Alyaske i Aleutskim ostrovam / A.P. Okladnikov, R.S. Vasil'evskii. – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 168 s.
12. Skvortsov E.F. V pribrezhnykh tundrakh Yakutii. Dnevnik astronoma Lensko-Kolymskoi ekspeditsii 1909 g. / E.F. Skvortsov // Trudy Komissii po izucheniyu Yakutskoi ASSR. – Tom XV. – Lensko-Kolymskaya ekspeditsiya pod nachal'stvom K.A. Vollosovicha. – L.: Izd-vo AN SSSR, 1930. – S. 68-84.
13. Chikachev A.G. K istorii russkogo naseleniya po r. Indigirke / A.G. Chikachev // Fol'klor Russkogo Ust'ya. Otv. red. S.N. Azbelev, N.A. Meshcherskii. – L.: Nauka, 1986. – S. 363-369.
14. Chikachev A.G. Russkie na Indigirke. Istoriko-etnograficheskii ocherk. Otv. red. A.I. Fedorov / A.G. Chikachev. – Yakutsk: Lit. fond, 2010. – 496 s.
15. Chikachev A.G. Russkoe serdtse Arktiki. Sost. E.N. Ammosova, I.A. Chikachev. Red. E.N. Ammosova / A.G. Chikachev. – Yakutsk: Lit. fond, 2010. – 496 s.
16. Chikachev A.G. Russkie na Indigirke. Istoriko-etnograficheskii ocherk. Rasputin V.G. Russkoe Ust'e. Izd-e 2-e, ispr. i dop. Red. i sost. I.A. Chikachev / A.G. Chikachev. – Yakutsk: Izd-vo "Literaturnyi fond im. Vladimira Frolova", 2016. – 264 s.
17. Shub T.A. Starozhiloe russkoe naselenie nizov'ev r. Indigirki / T.A. Shub // Trudy Vtorogo Vsesoyuznogo Geograficheskogo s"ezda. – Tom III. – M.: Gosudarstvennoe izd-vo geograficheskoi lit-ry, 1949. – S. 315.
18. Shub T.A. Byliny russkikh starozhilov nizov'ev reki Indigirki / T.A. Shub // Russkii fol'klor. Materialy i issledovaniya. – Vyp. 1. Redkoll.: A.M. Astakhova, V.G. Bazanov, M.O. Skripil' (otv. red.). – M.: Izd-vo AN SSSR, 1956. – S. 207-236.

Concentration of the main soluble ions in the composite

wedges of the Upper Sand unit of the Batagay megaslump

Vasil'chuk Yurij Kirillovich

Doctor of Geology and Mineralogy

Professor, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography

119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1, office 2009

✉ vasilch_geo@mail.ru



Abstract. Syngenetic composite wedges CW-10, CW-11, CW-12, CW-13, CW-14, and CW-15 were discovered in the Upper Sand unit of the Batagay megaslump, located 10 kilometers southeast of Batagay settlement. The goal of this work is to investigate the composition of ions in composite wedges in order to determine their formation characteristics. The ion composition of composite sand-ice wedges 10–15 from the upper sand is dominated by sulfate anions; their content reaches 372 mg/L. The content of chlorides is high – up to 94 mg /L, the ratio of chloride anions to sulfates reaches 2.7. Among the cations, calcium stands out—up to 172 mg/L and sodium up to 117 mg/L. The content of magnesium cations is up to 115 mg/L. The measurements were performed using a Stayer ion chromatograph. The average EC values in sand-ice wedges are: No. 10 – 407 mSm, No. 11 – 742 mSm, No. 12 – 583 mSm, No. 14 – 783 mSm, and No. 15 – 696 mSm. The average sodium cation content in composite wedges is: No. 10 – 22 mg/L, No. 11 – 63 mg/L, No. 12 – 28 mg/L, No. 14 – 57 mg/L, No. 15 – 35 mg/L. Average values of calcium cation content in sand-ice wedges: No. 10 – 0.42 mg/L, No. 11 – 89 mg/L, No. 12 – 63 mg/L, No. 14 – 92 mg/L, No. 15 – 98 mg/L. Average values of chloride anion content in sand-ice wedges: No. 10 – 23 mg/L, No. 11 – 48 mg/L, No. 12 – 41 mg/L, No. 14 – 51 mg/L, No. 15 – 35 mg/L. Average values of sulfate anion content in sand-ice wedges: No. 10 – 27 mg/L, No. 11 – 104 mg/L, No. 12 – 105 mg/L, No. 14 – 128 mg/L, No. 15 – 64 mg/L. Using the ionic composition of composite wedges as a geochemical tracer to study the problem of the genesis and formation processes of composite wedges allows us to obtain additional evidence of the nature of sand-ice wedges and the conditions of their formation. The chemical composition of wedges located in the Upper Sand unit was influenced by continental aerosols and slope suprapermafrost waters. The most significant difference in the ionic composition of composite wedges from the simultaneously accumulating ice wedges of the Batagay yedoma is the predominance of sulfate anions; their content (up to 372 mg/L) is one and even two orders of magnitude higher than in the ice of most yedoma wedges. In general, the ionic composition of composite sand-ice wedges differs significantly from the ionic composition of the Batagay yedoma ice wedges. Composite sand-ice wedges were formed with the active participation of slope processes and slope suprapermafrost waters.

Keywords: northern Yakutia, Batagay crater, Upper sand unit, cations and anions, mineralization, cryogeochimistry, macroelements, composite wedge, Late Pleistocene, permafrost

References (transliterated)

1. Anisimova N.P. *Kriogidrogeokhimicheskie osobennosti merzloj zony*. Novosibirsk: Nauka. 1981. 151 s.
2. Butakov V.I., Slagoda E.A., Opokina O. L., Tomberg I.V., Zhuchenko N.A. Osobennosti formirovaniya gidrokhimicheskogo i mikroelementnogo sostava raznykh tipov podzemnykh l'dov mysa Marre-Sale // *Kriosfera Zemli*. 2020. Tom XXIV. № 5. S. 29-44. doi:10.21782/KZ1560-7496-2020-5(29-44).

3. Butakov V.I. *Osobennosti formirovaniya geokhimicheskogo sostava podzemnykh l'dov Karskogo regiona* / Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. Tyumen', 2022. 25 s.
4. Vasil'chuk Yu.K. *Izotopno-kislorodnyi sostav podzemnykh l'dov (opyt paleogeokriologicheskikh rekonstruksii)*. M.: Izd. Otdel. Teoreticheskikh problem RAN. MGU, PNIIIS. 1992. V 2-kh tomakh. T. 1. – 420 s. T. 2. – 264 s.
5. Vasil'chuk Yu.K. Geokhimicheskii sostav podzemnykh l'dov severa Rossiiskoi Arktiki // Arktika i Antarktika. 2016. № 2. S. 99-115. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.2.21378 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=21378
6. Vasil'chuk Yu.K. Ionnyi sostav povtorno-zhil'nykh l'dov №17 i №20 Batagaiskoi edomy // Arktika i Antarktika. 2024. № 3. S. 65-90. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.3.71272 EDN: QEWEIZV URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71272
7. Vasil'chuk Yu.K. Kontsentratsiya osnovnykh rastvorimykh ionov v ledyanykh zhilakh PZhL-5 i PZhL-7 Batagaiskoi edomy // Arktika i Antarktika. 2024. № 4. S. 57-80. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.72210 EDN: LBJOHS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72210
8. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk D.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.K., Trishin A.Yu. Izotopno-geokhimicheskie osobennosti Batagaiskoi edomy (predvaritel'nye rezul'taty) // Arktika i Antarktika. 2017. № 3. S. 69-98. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.3.24433 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=24433
9. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K. Tipy tsiklitnosti edomnykh tolshch v doline reki Main, Chukotka // Arktika i Antarktika. 2019. № 2. S. 34-61. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.2.29667 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29667
10. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk D.Yu., Ginzburg A.P. Kriogennye pochvy v raione Batagaiskogo megaovraga, sever Yakutii // Arktika i Antarktika. 2020. № 3. S. 52-99. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.3.33599 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33599
11. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk D.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.K., Ginzburg A.P. Geokhimicheskii sostav povtorno-zhil'nykh l'dov v Batagaiskoi edome // Arktika i Antarktika. 2021. № 2. S. 70-92. DOI: 10.7256/2453-8922.2021.2.35962 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35962
12. Volkova V. P., Romanovskii N. N. Nekotorye osobennosti khimicheskogo sostava podzemnykh l'dov Uyandinskoi vpadiny i prilegayushchikh chastei Selennyakhskogo khrepta // *Merzlotnye issledovaniya*, vyp. 10. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 1970. S. 114-128.
13. Volkova V. P., Romanovskii N. N. O khimicheskem sostave podzemnykh l'dov v chetvertichnykh otlozheniyakh yuzhnoi chasti Yano-Indigirskoi nizmennosti // *Problemy kriolitologii*, vyp. 4. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 1974. S. 199-208.
14. Danilov I. D., Solomatin V. I., Shmideberg N. A. Khimicheskii sostav podzemnykh l'dov kak pokazatel' uslovii ikh formirovaniya i genezisa vmeschchayushchikh porod // *Prirodnye usloviya Zapadnoi Sibiri*. Vyp. 7. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 1980. S. 119-126.
15. Derevyagin A.Yu., Kunitskii V.V., Meier Kh. Peschano-ledyanye zhily na krainem severa Yakutii // *Kriosfera Zemli*. 2007. Tom XI. № 1. S. 62-71.
16. Dubikov G. I. *Sostav i kriogennoe stroenie merzlykh tolshch Zapadnoi Sibiri*. M.: Izd-vo "Geos". 2002. 246 s.
17. Dubikov G.I., Ivanova N.V., Zykov Yu.D., Chervinskaya O.P., Krasovskii A.G. Zasolenie pribrezhnykh otlozhenii i ikh korrozionnaya agressivnost' // *Kriosfera Zemli*. 1997. Tom III. № 1. S. 43-52.

18. Kaplina T.N., Sher A.V. Kriogennoe stroenie, usloviya formirovaniya i vozrast konstrativnoi allyuvial'noi svity Sypnogo Yara na Indigirke // *Merzlye porody i snezhnyi pokrov*. M.: Nauka, 1977. S. 27-41.
19. Kut' A.A. *Eolovo-merzlotnye obrazovaniya (tukulany) Tsentral'noi Yakutii: stroenie, genezis, vozrast, zakonomernosti rasprostraneniya*. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. In-t merzlotovedeniya SO RAN. Yakutsk, 2015. 22 s.
20. Lakhtina O.V. Fizicheskie i khimicheskie svoistva gruntov Kolymskoi nizmennosti // *Trudy PNIIIS*. Vyp. 54. M., 1978. S. 13-54.
21. Opokina O.L., Slagoda E.A., Streletskaia I.D., Suslova M.Yu., Tomberg I.V., Khodzher T.V. Kriolitologiya, gidrokhimiya i mikrobiologiya golotsenovykh ozernykh i povtorno-zhil'nykh l'dov o-va Sibiryakova Karskogo morya // *Priroda shel'fov i arkhipelagov Evropeiskoi Arktiki*. Vyp. 10. M.: GEOS, 2010. S. 241-247.
22. Opokina O.L., Slagoda E.A., Tomberg I.V., Suslova M.Yu., Firsova A.D., Khodzher T.V., Zhuchenko N.A. kolebaniya urovnya morya i ikh otrazhenie v sostave i stroenii poligonal'no-zhil'nykh l'dov v nizov'yakh Eniseya // *Led i Sneg*. 2014. Tom 54(2). S. 82-90. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-82-90.
23. Tikhonravova Ya. V., Lupachev A. V., Slagoda E. A., Rogov V. V., Kuznetsova A. O., Butakov V. I., Simonova G. V., Taratunina N. A., Mullanurov D. R. Stroenie i formirovanie ledogruntovykh zhil vtoroi ozerno-allyuvial'noi terrasy na severe Gydana v pozdnem neopleistotsene-golotsene // *Led i sneg*. 2019. №4. S. 557-570. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-367.
24. Brown J. Ice-wedge chemistry and related frozen ground processes, Barrow, Alaska // *Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana*. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C. USA. 1966. P. 94-98.
25. Campbell-Heaton K. *Ice wedge activity in the Eureka Sound Lowlands, Canadian High Arctic*. A thesis submitted to the University of Ottawa in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science in Geography. Department of Geography, Environment and Geomatics. Faculty of Arts. CryoLab for Arctic, Antarctic and Planetary Studies (CLAAPS). University of Ottawa, 2020. 103 p.
26. Campbell-Heaton K., Lacelle D., Fisher D., Pollard W. Holocene ice wedge formation in the Eureka Sound Lowlands, high Arctic Canada // *Quaternary Research*. 2021. Vol. 102. P. 175-187. doi: 10.1017/qua.2020.126.
27. Douglas TA, Barker AJ, Monteath AJ, Froese DG. A local meteoric water line for interior Alaska constrains paleoclimate from 40 000 year old relict permafrost // *Environmental Research Letters*. 2025. Vol. 20:024029. doi: 10.1088/1748-9326/ada16b.
28. Fritz M., Opel T., Tanski G., Herzschuh U., Meyer H., Eulenburg A., Lantuit H. Dissolved organic carbon (DOC) in Arctic ground ice // *The Cryosphere*. 2015. Vol. 9. P. 737-752. doi:10.5194/tc-9-737-2015.
29. Holland K.M. *Ice-Wedge Archives in the Northwestern Canadian Arctic*. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science. Department of Geography and Planning. University of Toronto, 2020. 85 p.
30. Holland K.M., Porter T.J., Criscitiello A.S., Froese D.G. Ion geochemistry of a coastal ice wedge in Northwestern Canada: Contributions from marine aerosols and implications for ice-wedge paleoclimate interpretations // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2023. Vol. 34(2). P. 180-193. doi:10.1002/ppp.2184.
31. Iizuka Y., Miyamoto C., Matoba S., Iwahana G., Horiuchi K., Takahashi Y., Kanna N.,

Suzuki K., Ohno H., Ion concentrations in ice wedges: An innovative approach to reconstruct past climate variability // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2019. Vol. 515. P. 58–66. doi:10.1016/j.epsl.2019.03.013.

32. Mackay J.R., Mathews J.V. Pleistocene ice wedges and sand wedges, Hooper Island, NWT // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1983. Vol. 20. P. 1087-1097. doi: 10.1139/e83-097

33. Murton J. Morphology and Paleoenvironmental Significance of Quaternary Sand Veins, Sand Wedges, and Composite Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Journal of Sedimentary Research*. 1996. Vol. 66(1). P. 17-25. doi: 10.1306/D4268298-2B26-11D7-8648000102C1865D.

34. Murton J.B., Bateman M.D. Syngenetic Sand Veins and Anti-Syngenetic Sand Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2007. Vol. 18. P. 33-47. doi: 10.1002/ppp.577.

35. Murton J.B., Opel T., Toms P., Blinov A., Fuchs M. et al. (2022). A multi-method dating study of ancient permafrost, Batagay megaslump, East Siberia // *Climate of the Past*. 2022. Vol. 105. P. 1-22. doi:10.1017/qua.2021.27.

36. Murton J., Opel T., Wetterich S., Ashastina K., Savvinov G., Danilov P., Boeskorov V. 2023. Batagay megaslump: A review of the permafrost deposits, Quaternary environmental history, and recent development // *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 34(3). P. 399-416. doi: 10.1002/ppp.2194.

37. O'Sullivan J.B. Geochemistry of permafrost: Barrow, Alaska // *Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana*. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C.USA. 1966. P. 30-37.

38. Park R., Ko N.-Y., Kim J.E., Opel T., Meyer H., Wetterich S., Fedorov A., Shepelev A.G., Jung H., Ahn J. A Biogeochemical Study of Greenhouse Gas Formation From Two Ice Complexes of Batagay Megaslump, East Siberia // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2024. Vol. 35(4). P. 437-449. doi:10.1002/ppp.2234.

39. Savoskul O.S. Ion content of polygonal wedge ice on Bolshoi Lyakhov: a source of palaeoenvironmental information // *Ann. Glaciol.* 1995. Vol. 21. P. 394-398. doi:10.1017/s026030550001612827.

40. Schirrmeister L., Grosse G. et al. Permafrost, periglacial and paleoenvironmental studies on New Siberian Islands // *Russian-German Cooperation System Laptev Sea. The expedition Lena 2002*. M.N. Grigoriev, V. Rachold et al. (eds.). *Berichte zur Polar- und Meeresforschung. Rep. on Polar and Marine Res.* 2003. Vol. 466. P. 195-261.

41. Vasil'chuk Yu.K., Trofimov V.T. Cryohydrochemical peculiarities of ice-wedge complexes in the north of Western Siberia // *Permafrost. Fourth International Conference, Proceedings*. Fairbanks. Alaska. National Academy Press. Washington. 1983. P. 1303-1308.

42. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Belik A.D., Bludushkina L.B., Ginzburg A.P., Krechetov P.P., Terskaya E.V. Major and trace elements, $\delta^{13}\text{C}$, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Late Pleistocene ice wedges: A case-study of Batagay yedoma, Central Yakutia // *Applied Geochemistry*. 2020. Vol. 120. P. 104669. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104669.

43. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C. MIS 3-2 paleo-winter temperature reconstructions obtained from stable water isotope records of radiocarbon-dated ice wedges of the Batagay Ice Complex (Yana Upland, eastern Siberia) // *Radiocarbon*. 2022. Vol. 64(6). P. 1403-1417. doi: 10.1017/RDC.2022.60.

44. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A.C., Budantseva N. A., Tokarev I.V., Vasil'chuk J.Yu. Direct AMS radiocarbon age of the MIS2-3 thin composite wedges from Batagay Upper Sand // *Radiocarbon*. 2025. Vol. 67.

45. Wolfe S.A., Morse P.D., Neudorf C.M., Kokelj S.V., Lian O.B., O'Neill H.B. Contemporary sand wedge development in seasonally frozen ground and paleoenvironmental implications // *Geomorphology*. 2018. Vol. 308. P. 215-229. doi: 10.1016/j.geomorph.2018.02.015.

Optimization of Statistical Modeling Parameters for Geophysical Fields in Permafrost Conditions

Kambalin Igor Olegovich

Postgraduate student; Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1

✉ igorkambalin@gmail.com



Koshurnikov Andrey Viktorovich

Doctor of Geology and Mineralogy

Lecturer; Department of Glaciology and Cryolithology, Moscow State University

119192, Russia, Moscow, Stoletova str., 9, sq. 12

✉ koshurnikov@msu-geophysics.ru

Balihin Ermolai Igorevich

Postgraduate student; Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University

119234, Russia, Moscow, Leninskie gory str., 1

✉ ermikus2@mail.ru

Abstract. This study examines the geocryological environment of a site near Norilsk's Nickel Plant slag dump. The rectangular area spans 600 by 1000 meters. The goal is to assess permafrost properties within the geological section. The section is analyzed using geophysical methods to depths of 15 meters, with data validation through boreholes averaging 15 meters, one reaching 20 meters. Sparse and heterogeneous data necessitate interpolation for continuous models. Interpolation algorithms, including a three-dimensional Bayesian approach, were used with parameter tuning for search radius, neighbors, and covariance function type. This approach accounts for soil property variability and improves spatial model accuracy. The study adapts methods for reliable geocryological modeling. Analysis uses ArcGIS Pro, employing the empirical Bayesian method with validation through borehole and geomorphological data. Key conclusions include a methodology integrating geophysical investigations and statistical processing for permafrost modeling. The three-dimensional approach better captures environmental variability and enhances accuracy, confirmed by borehole data. For instance, the seasonally thawed layer's thickness identified through geophysics aligns with geomorphological and lithological features. A three-dimensional method, Bayesian Kriging 3D, was adapted for permafrost conditions. Parameters like covariance function type, partitioning scale, and neighbors were studied. This is the first evaluation of empirical Kriging's effectiveness in this area. The results support infrastructure planning and resource management, demonstrating advanced geostatistical techniques' applicability for Arctic permafrost modeling.

Keywords: Covariance function, Data validation, Interpolation, Bayesian Kriging, Geophysical investigations, Spatial modeling, Permafrost, Geocryological environment, Interpolation algorithms, Norilsk

References (transliterated)

1. Akimov A. T., Klishes T. M., Mel'nikov V. P., Snegirev A. M. Elektromagnitnye metody issledovanii kriolitozony / Pod red. V. D. Badalova. Yakutsk: In-t merzlotovedeniya SO AN SSSR, 1988. 48 s.
2. El'tsov I. N., Olenchenko V. V., Fage A. N. Elektrotomografiya v Rossiiskoi Arktike po dannym polevykh issledovanii i trekhmernogo chislennogo modelirovaniya // Neftegaz.RU. 2017. № 2. S. 54-64.
3. Ershov E. D. Obshchaya geokriologiya. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2002. 682 s.
4. Sudakova M. S., Brushkov A. V., Velikin S. A., Vladov M. L., Zykov Yu. D., Neklyudov V. V., Olenchenko V. V., Pushkarev P. Yu., Sadurtdinov M. R., Skvortsov A. G., Tsarev A. M. Geofizicheskie metody v geokriologicheskem monitoringe // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2022. № 6.
5. Shesternev D. M., Omel'yanenko P. A. Povyshenie effektivnosti realizatsii inzhenerno-geofizicheskikh metodov pri issledovanii gruntov kriolitozony // Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2018. № 5. S. 1184-1196.
6. Kostitsyn V. I., Khmelevskoi V. K. Geofizika: uchebnik; Perm. gos. nats. issled. un-t. Perm', 2018. 428 s.
7. Herring T., Lewkowicz A. G., Hauck C., et al. Best practices for using electrical resistivity tomography to investigate permafrost // Permafrost and Periglacial Processes. 2023. No. 34(4). Pp. 494-512.
8. Yaitskaya N. A., Brigida V. S. Geoinformatsionnye tekhnologii pri reshenii trekhmernykh geoekologicheskikh zadach: prostranstvennaya interpolyatsiya dannykh // Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2022. № 12(1). S. 162-173.
9. Kambalin I.O., Koshurnikov A.V., Balikhin E.I. Rol' tsifrovyykh modelei rel'efa dlya uvelicheniya tochnosti geofizicheskikh issledovanii tekhnogennogo metallicheskogo zagryazneniya v usloviyakh kriolitozony (Na primere Noril'skogo poligona) // Arktika i Antarktika. 2024. № 4. S. 13-23. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.71872 EDN: NKJSBV URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71872
10. Douglas T. A., Hiemstra C. A., Anderson J. E., et al. Recent degradation of interior Alaska permafrost mapped with ground surveys, geophysics, deep drilling, and repeat airborne lidar // The Cryosphere. 2021. No. 15(8). Pp. 3555-3571.
11. Dolgal' A. S., Muravina O. M., Auzin A. A., Ponomarenko I. A., Gruzdev V. N. Sfery primeneniya sovremennykh statisticheskikh metodov obrabotki geofizicheskoi informatsii // Vestnik VGU. Seriya: Geologiya. 2019. № 4. S. 79-84.
12. Osipov V. V. Analiz metodov sozdaniya tsifrovyykh modelei poverkhnosti // GEO-Sibir'-2011. T. 1. Ch. 2.: sb. mater. VII Mezhdunar. nauchn. kongressa "GEO-Sibir'-2011", 19-29 aprelya 2011 g., Novosibirsk. Novosibirsk: SGGA, 2011. S. 82-86.
13. Vegter S., Bonnaventure P. P., Daly S., Kochtitzky W. Modelling permafrost distribution using the temperature at top of permafrost (TTOP) model in the boreal forest environment of Whatì // NT. Arctic Science. 2024. No. 10(3). Pp. 455-475.
14. Treat C. C., Virkkala A.-M., Burke E., Bruhwiler L., Chatterjee A., Hayes D. J., et al. Permafrost carbon: progress on understanding stocks and fluxes across northern

terrestrial ecosystems // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2024. No. 129(2).

15. Karta chetvertichnykh otlozhenii: R-45 (Noril'sk). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Tret'e pokolenie. Noril'skaya seriya. Karta chetvertichnykh obrazovanii, mashtab: 1:1000000 / red. V. A. Rad'ko. M.: FGBU "VSEGEI", 2016.
16. Paderin P. G., Demenyuk A. F., Nazarov D. V., Chekanov V. I. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Noril'skaya. List R-45 – Noril'sk. Ob"yasnitel'naya zapiska. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2016.
17. Jorgenson M. T., Grosse G. Remote sensing of landscape change in permafrost regions: progress, challenges, and opportunities // Permafrost and Periglacial Processes. 2022. No. 33(4). Pp. 429-447.
18. Overduin P. P., Wegner C., Kassens H., et al. Subsea permafrost dynamics and coastline retreat in the Arctic shelf: statistical modeling of observations // Geosciences. 2021. No. 11(12). Pp. 505.

Geomorphological structure and several physico-chemical properties of soils in Western Spitsbergen maritime cryogenic landscapes

Ginzburg Aleksandr Pavlovich 

Postgraduate student; Laboratory of Soil Cryology, Pushchinsky Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences

2/2 Institutskaya str., office 23, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

 alexandrginzburg13154@yandex.ru

Lupachev Aleksei Vladimirovich 

PhD in Biology

Senior Researcher; Laboratory of Soil Cryology, 'Pushchino Scientific Center for Biological Research' of the Russian Academy of Sciences

142290, Russia, Moscow region, Pushchino, Institutskaya str., 2/2, office 23

 a.lupachev@gmail.com

Abstract. Spitsbergen is the territory with unique landscape, geological and biological diversity under threat of degradation as a consequence of air temperature dynamics and permafrost area and thickness decrease. Additionally, nowadays in Spitsbergen the mining activity continues (coal, metal ores, hydrocarbons) and the quantity of tourists rises yearly. These reasons unavoidably lead to ecosystem transformation processes. In 2024 field studies of soils and natural waters at Western Spitsbergen cryogenic landscapes took places around Green-Fjord (Barentsburg) and Colesbay (Polar station). 19 soil profiles were described and classified as 8 types. Soil were described according to classification and diagnostics of Russian soils. Soil peats studies were carried out by the landscape-geochemical (catenar) principle. In soil cover structure of the elevated geomorphological levels – I and II marine terraces (including those covered by deluvial shields), – gleyic cryozems and humified petrozems dominate. Soil surfaces on these levels are complicated by nano-polygonal cryogenic microrelief. Soil diversity of lower geomorphological levels – river floodplains and low (periodically flooding) accumulative sea coasts, – is presented by pelozems, petrozems, and sulfide solonchaks, developing in conditions of shallow dense rocky layer depth. Major part of studied natural waters is characterized by moderate oxidation-reduction potential around 100-

250 mV, acidity rate vary within 6.5-9.5. Mineral-peaty gleezems developing in the lowlands with the periodical flooding by sea waters are characterized by the highest acidity rates and compose negative oxidation-reduction potential (down to -3 mV) and high mineralization (between 3-5 g L-1). Soils of these landscapes are most perspective from the point of lateral matter migration in catenas of the Spitsbergen maritime cryogenic landscapes for the reason that contrast lateral geochemical barriers are able to form here.

Keywords: Acidity, Natural waters geochemistry, Buried soils, Petrozem, Lithozem, Cryozem, Cryogenic processes, Permafrost, Mineralization, Oxidation-reduction potential

References (transliterated)

1. Humlum O., Instanes A., Sollid J.L. Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research*, 2003, vol. 22 (2), pp. 191-215.
2. Vtyurin B.I. Podzemnye l'dy Shpitsbergena // Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii. Khronika, obsuzhdeniya, 1989. № 65. S. 69-75.
3. Vtyurin B.I. Kriogennoe stroenie rykhlykh otlozhenii Shpitsbergena // Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii. Khronika, obsuzhdeniya, 1990. № 70. S. 43-49.
4. Geologien på Svalbard (2007). S. Ellevold, W. Dallmann, D. Blomeier. Norge, Tromsø: Norsk Polarinstitutt, Polarmiljøsenteret. ISBN: 978-82-7666-239-9. (Norv.)
5. Krotkov V.E., Pis'menyuk A.A., Kizyakov A.I. Territorial'naya differentsiatsiya proyavleniya kriogennye protsessov na Zemle Nordenshel'da (o. Zapadnyi Shpitsbergen) // Rel. i chetv. obr. Arkt., Subark. i Sev.-Zap. Rossii. 2019. Vyp. 6. S. 66-70. URL: <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2019-10611>
6. Osokin N.I., Sosnovskii A.V., Nakalov P.R. i dr. Klimaticheskie izmeneniya i vozmozhnaya dinamika mnogoletnemerzlykh gruntov na arkhipelage Shpitsbergen // Led i Sneg, 2012. № 2 (118). S. 115-120.
7. Schirrmeister L., Siegert C., Strauß J. (2012). Permafrost ein sensibles Klimaphänomen – Begriffe, Klassifikationen und Zusammenhänge. *Polarforschung*, Vol. 81 (1), pp. 3-10. (Nem.)
8. Targul'yan V.O., Kulikov A.V. Osnovnye cherty pochv ostrova Zapadnyi Shpitsbergen // Biologicheskie problemy Severa. Tez. X Vsesoyuz. simpoz. Ch. 1. Magadan, 1983. S. 272-273.
9. Dobrovolskii V.V. Geokhimiya pochv Shpitsbergena // Pochvovedenie, 1990. № 2. S. 5-20.
10. Pereverzev V.N., Litvinova T.I. Pochvy morskikh terras i korennnykh sklonov na poberezh'yakh f'ordov ostrova Zapadnyi Shpitsbergen // Pochvovedenie, 2010. № 3. S. 259-269.
11. Kryauchyunas V.V., Iglovskii S.A., Shakhova E.V., Malkov A.V. Tyazhelye metally v arkticheskikh pochvakh zapadnogo poberezh'ya arkhipelaga Shpitsbergen // Ekologiya cheloveka, 2014. № 9. S. 8-13.
12. Alekseev I.I., Abakumov E.V. Taksonomicheskoe i morfologicheskoe raznoobrazie pochv okrestnosti zaliva Gren'ord (arkhipelag Shpitsbergen) // Samar. Luka: probi. regional. i global. ekologii, 2016. T. 25. № 4. S. 156-161.
13. Kashulina G.M., Litvinova T.I., Korobeinikova N.M. Pochvy yugo-zapadnogo poberezh'ya ostrova Zapadnyi Shpitsbergen // Tr. Kol. NTs RAN. Prikl. ekologiya Severa, 2021. Vyp. 9. T. 12. № 6. S. 271-275. URL: <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.040>

14. Walker D.A., Raynolds M.K., Daniels F.J.A. et al. The Circumpolar Arctic Vegetation Map // *J. Veg. Sci.*, 2005, vol. 16, No. 3, pp. 267-282. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>
15. Szymański W., Skiba S., Wojtun B. (2013). Distribution, genesis, and properties of Arctic soils: a case study from the Fuglebekken catchment, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 289-304. URL: <https://doi.org/10.2478/popore-2013-0017>
16. van der Meij W.M., Temme A.J.A.M., de Kleijn C.M.F.J.J. et al. (2016). Arctic soil development on a series of marine terraces on central Spitsbergen, Svalbard: a combined geochronology, fieldwork and modelling approach. *SOIL*, Vol. 2, pp. 221-240. URL: <https://doi.org/10.5194/soil-2-221-2016>
17. Bartos A., Szymański W., Gus-Stolarczyk M. (2023). Morphology and properties of permafrost-affected soils under different tundra vegetation in central Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-20. URL: <https://doi.org/10.24425/ppr.2022.143317>
18. Jones E.L., Hodson A.J., Thornton S.F., Redeker K.R., Rogers J., Wynn P.M., Dixon T.J., Bottrell S.H., O'Neill H.B. (2020). Biogeochemical Processes in the Active Layer and Permafrost of a High Arctic Fjord Valley. *Front. Earth Sci.*, Vol. 8:342. URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00342>
19. Shlyakhov S.A. *Klassifikatsiya pochv morskikh poberezhiy*. Vladivostok, 1996. 35 s.
20. Chernousenko G.I., Oreshnikova N.V., Ukraintseva N.G. *Zasolenie pochv poberezhiya severnykh i vostochnykh morei Rossii* // *Pochvovedenie*, 2001. № 10. S. 1192-1206.
21. Gubin S.V., Lupachev A.V., Khodzhaeva A.K. *Pochvy akkumulyativnykh beregov morei vostochnogo sektora Rossiiskoi Arktiki*. *Pochvovedenie*, 2022. № 1. S. 1-8. URL: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010051>
22. Lupachev A.V., Gubin S.V. The soil-cryogenic complex: Evidence of late Pleistocene-Holocene coevolution of permafrost and cryosols at the Kolyma Lowland. *Permafrost and Periglac. Process.*, 2023. Pp. 1-14. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.2191>
23. Shur Yu.L. *Verkhniy gorizont tolshchi merzlykh porod i termokarst*. Novosibirsk: Izd-vo AN SSSR. Sib. otd-nie, 1988. 214 s.
24. Andreeva E.S., Lipovitskaya I.N., Andreev S.S. Sovremennye osobennosti pogodno-klimaticheskogo rezhima ostrova Zapadnyi Shpitsbergen i ikh vklad v rasseianie antropogenykh primesei // *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye*, 2019. № 2. S. 68-72.
25. Lavrent'ev I.I., Kutuzov S.S., Glazovskii A.F. i dr. *Tolshchina snezhnogo pokrova na lednike Vostochnyi Grenf'ord (Shpitsbergen) po dannym radarnykh izmerenii i standartnykh snegomernykh s"emok* // *Led i Sneg*, 2018. T. 58. № 1. S. 5-20. URL: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-1-5-20>
26. Tolgensbakk, L., Sørbel, J., Høgvard K., (2000). Adventdalen, Geomorphological and Quaternary Geological map, Svalbard 1:100 000, Spitsbergen sheet C9Q. Norsk Polarinstitut Temakart rr. 32.
27. Sharin V.V., Gusev E.A., Zykov E.A. *Karta chetvertichnykh obrazovanii arkhipelaga Shpitsbergen masshtaba 1:1000 000* // Rel. i chetv. obraz. Arkt., Subarkt. i Sev.-Zap. Rossii, 2022. Vyp. 9. S. 291-295. URL: <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2022-9-291-295>
28. Bondevik S., Mangerud J, Ronnert L. et al. (1995). Postglacial sea-level history of Edgeoya and Barentsøya, eastern Svalbard. *Polar Res.*, Vol. 14(2), pp. 153-180.
29. Geoscience Atlas of Svalbard (2015). Ed. W.K. Dallmann. Norway, Tromsø: Norsk Polarinstitutt (Norge Polar Institute), Report Series No. 148.

30. Terekhov A.V. Izmenchivost' balansa massy lednikov raiona Barentsburga (arkhipelag Shpitsbergen) v nachale 21-go veka / Dis. ... kand. geogr. nauk. SPb.: Arkt. i Antarkt. nauchn.-issled. in-t, 2024. 121 s.
31. Landvik J., Mangerund J., Salvigsen O. (1988). Glacial history and permafrost in the Svalbard area. V Intern. on Permafrost. Trondheim, Norway, pp. 194-198.
32. Oledenenie Shpitsbergena (Sval'barda). M.: Nauka, 1975. 276 s.
33. Brown, J., Ferrians Jr., Heginbottom O.J. et al. (1997). Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions. US Geological Survey Reston.
34. Etzemüller, B., Schuler, T.V., Isaksen, K., Christiansen, H.H., Farbrot, H., Benestad, R. (2011). Modeling the temperature evolution of Svalbard permafrost during the 20th and 21st century. *Cryosphere*, Vol. 5, pp. 67-79. URL: <https://doi.org/10.5194/tc-5-67-2011>
35. Harris C., Kern-Luetschg M., Christiansen H.H. et al. (2011). The Role of Interannual Climate Variability in Controlling Solifluction Processes, Endalen, Svalbard. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 22(3), pp. 239-253. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.727>
36. Romanovsky, V.E., Smith, S.L., Christiansen, H.H. (2010). Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 21, pp. 106-116.
37. Demidov N.E., Karaevskaya E.S., Verkulich S.R., Nikulina A.L., Savatyugin L.M. Pervye rezul'taty merzlotnykh nablyudenii na kriosfernom poligone Rossiiskogo nauchnogo tsentra na arkhipelage Shpitsbergen (RNTsSh) // Problemy Arktiki i Antarktiki, 2016. №4 (110). S. 67-79.
38. Baza dannykh mezhdunarodnoi programmy tsirkumpolyarnogo monitoringa aktivnogo sloya (CALM), dannyе o rezul'tatakh izmerenii na optynykh ploshchadkakh v severnom polusharii [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www2.gwu.edu/~calm/data/north.htm> (data obrashcheniya 21.09.2024).
39. A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Oslo: Norsk Polarinstiutt, 1996.
40. Polevoi opredelitel' pochv Rossii. M.: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008. 182 s.
41. Glazovskaya M.A. Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovanii prirodnykh landshaftov. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1964.
42. Bogdanova M.D., Gavrilova I.P., Gerasimova M.I. Elementarnye landshafty kak ob"ekty landshaftno-geokhimicheskogo kartografirovaniya // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya, 2012. № 1. S. 23-28.
43. Hacquebord L. (2001). Three centuries of whaling and walrus hunting in Svalbard and its impact on the Arctic ecosystem. *Environment and History*, Vol. 7, No. 2, "Beyond Local, Natural Ecosystems" Sp. Iss. Pp. 169-185. URL: <https://doi.org/10.3197/096734001129342441>
44. Grønfjord (Green Harbour): Finneset. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.spitsbergen-svalbard.com/photos-panoramas-videos-and-webcams/spitsbergen-panoramas/finneset.html> (data obrashcheniya 04.10.2024).
45. Mavlyudov B.R., Kudinov A.V. Izmenenie lednika Al'degonda s nachala XX veka // Izv. Kol. NTs RAN, 2018. №3 (10). S. 152-162. URL: <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.152-164>
46. Kryuchyunas V.V., Iglovskii S.A., Lyubas A.A. i dr. Novye dannyе po paleogeografiи vostochnogo poberezh'ya zaliva Gren-F'ord (ostrov Zapadnyi Shpitsbergen) na osnovanii izucheniya golotsenovykh otlozhenii na myse Finniset s primeneniem

izotopno-geokhimicheskikh metodov // Izv. TPU. Inzhiniring georesursov, 2020. T. 331. № 1. S. 171-183. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/1/2458>

47. Rasmussen C.F., Christiansen H.H., Buylaert J.P. et al. (2023). High-resolution OSL dating of loess in Adventdalen, Svalbard: Late Holocene dust activity and permafrost development. *Quatern. Sci. Rev.*, 310:108137.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108137>

48. Rouyet L., Laukens T.R., Christiansen H.H. et al. (2019). Seasonal dynamics of a permafrost landscape, Adventdalen, Svalbard, investigated by InSAR. *Rem. Sens. of Environ.* 231:111236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11123>

Clays of yedoma suite

Vasil'chuk Alla Constantinovna 

Doctor of Geography

Leading Researcher; Laboratory of Geoecology of the North; Lomonosov Moscow State University
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, Department of Geography, Faculty of Geoecology of the North

 alla-vasilch@yandex.ru

Vasil'chuk Yurij Kirillovich 

Doctor of Geology and Mineralogy

Professor; Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils; Lomonosov Moscow State University
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1, office 2009

 vasilch_geo@mail.ru

Abstract. The subject of the study is the permafrost strata composed of clayey soils, sandy loams, and loams. It has been shown that the layers of the permafrost complex are usually made up of ice-rich, dusty, sandy-loamy soils. However, they are often represented by ice-rich sandy, sandy-gravel, and even gravelly soils. The definition of permafrost layers is provided. Permafrost is characterized by high ice content (containing more than 50-90% ice), generally rich in organic material (containing more than 1-2% organic matter), silty and dusty sandy and fine sandy late Pleistocene deposits; in intermountain basins and on slopes, permafrost layers can be saturated with loam and gravel, while in river valleys and deltas, they may contain gravel and rock debris. The age of permafrost layers varies from 12 to 50 cal. ka BP. Permafrost deposits contain massive (up to 15-20 m high and more), often multilevel, cyclically arranged, syngenetic ice wedges. Exposed permafrost deposits typically emit a specific "old stable" odor due to decaying organic matter. The research methodology consists of a detailed review of the permafrost layers studied by the authors and colleagues. Permafrost with coarse clastic material has been found north of 80° N and in the south in the Western Sayan and Transbaikalia south of 55° N. The most interesting sections, studied by the authors in northern Russia, are the sections of the permafrost complex mainly composed of clayey, loamy, and sandy soils, exposed in the ice wedge complex at the Seyakha village (height over 20 m), permafrost outcrop at the Zelyony Mys village (exposure height over 40 m), the Duvanny Yar outcrop (height about 55 m), the Bison outcrop (up to 15 m high), Stanchikovsky Yar outcrop (height about 35 m), the Batagay megaslump (height over 75 m), and in the valley of the Mayn River. It is particularly emphasized that in Western Siberia, permafrost layers have been studied in the Yamal Peninsula in the Seyakha Late Pleistocene syngenetic yedoma suite, with heights ranging from 22 to 24 m.

Keywords: Chukotka, Yakutia, Northwest Siberia, rock debris, gravel, clay soils, syngenetic, ice wedges, yedoma, Arctic

References (transliterated)

1. Bartova A.V. Eshche nemnogo o edome Severo-Vostoka // *Rel'ef i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii*. Vyp. 9. 2022. S. 17-21. doi:10.24411/2687-1092-2019-10503. EDN: MQTNZI
2. Vasil'chuk Yu.K. *Povtorno-zhil'nye l'dy: geterotsiklichnost', geterokhronnost', geterogennost'*. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2006. – 404 s. EDN: VPDWDP
3. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K., Sulerzhitskii L.D., Budantseva N.A., Kuchera V., Rank D., Chizhova Yu.N. Vozrast, izotopnyi sostav i osobennosti formirovaniya pozdnepleistotsenovykh sinkriogenykh povtorno-zhil'nykh l'dov Duvannogo Yara // *Kriosfera Zemli*. 2001. № 1. S. 24-36. EDN: TOTHIY
4. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K. Tipy tsiklitnosti edomnykh tolshch v doline reki Main, Chukotka // *Arktika i Antarktika*. 2019. № 2. S.34-61. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.2.29667 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29667
5. Vasil'chuk Yu.K., Budantseva N.A. Stabil'nye izotopy kisloroda v novykh razrezakh edomnykh i golotsenovykh otlozhenii poselka Cherskii, nizov'ya reki Kolymy // *Arktika i Antarktika*. 2018. № 3. S. 95-106. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27600 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27600
6. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K. Edoma s vkl'yucheniyami gruboobломочnykh porod // *Inzhenernaya geologiya*. 2023. № 2. S. 64-80.
7. Shukhvostov R.S., Shkol'nyi D.I., Semakov V.A. Otlozheniya ledovogo kompleksa v sredнем techenie reki Anadyr' // *Rel'ef i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii*. 2024. Vypusk 11. S. 632-638. doi:10.24412/2687-1092-2024-11-632-638. EDN: HNNXJG
8. Chlachula J., Dyakonov V.M., Alekseev A.N., Protopopov A.V., Klimovskiy A.I., Kolesov S.D. The Central Indigirka in the Last Ice Age, North-East Arctic Siberia // *Quaternary Science Reviews*. 2025. Vol. 349:108990. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108990>.
9. Opel T., Wetterich S., Meyer H., Dereviagin A. Y., Fuchs M. C., Schirrmeister L. Ground-ice stable isotopes and cryostratigraphy reflect late Quaternary palaeoclimate in the Northeast Siberian Arctic (Oyogos Yar coast, Dmitry Laptev Strait) // *Climate of the Past*. 2017. Vol. 13. P. 587-611. doi:10.5194/cp-13-587-2017.
10. Schirrmeister L., Froese D. et al. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia. In *Encyclopedia of Quaternary Science, Second Edition*. Elias S.A., Mock C.J. (eds). Elsevier: Amsterdam. 2013. Vol. 2. S. 542-552. DOI: 10.1016/B978-0-444-53643-3.00106-0. EDN: UXJEQC
11. Schirrmeister L., Dietze E., Matthes H. et al. The genesis of Yedoma Ice Complex permafrost – grain-size endmember modeling analysis from Siberia and Alaska // *E&G Quaternary Science Journal*. 2020. Vol. 69. S. 33-53. DOI: 10.5194/egqsj-69-33-2020. EDN: DOOCME
12. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Ice wedges in the Mayn River valley and winter air paleotemperatures in the Southern Chukchi Peninsula at 38-12 Kyr BP // *Earth's Cryosphere (Kriosfera Zemli)*. 2017. Vol. XXI. No. 5. S. 24-35. DOI: 10.21782/EC1560-7496-2017-5(24-35). EDN: MRRARQ
13. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Syngenetic ice wedges and age of slope yedoma

deposits of the foothills of the Kular Ridge // *Earth's Cryosphere (Kriosfera Zemli)*. 2020. Vol. XXIV. N2. S. 3-13. DOI: 10.21782/EC2541-9994-2020-2(3-13). EDN: TKUKEG

14. Wetterich, S., Kizyakov, A., Fritz, M., Wolter, Ju., Mollenhauer, G., Meyer, H., Fuchs, M., Aksenov, A., Matthes, H., Schirrmeyer, L., Opel, T. The cryostratigraphy of the Yedoma cliff of Sobo-Sise Island (Lena delta) reveals permafrost dynamics in the central Laptev Sea coastal region during the last 52 kyr // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14, 4525-4551. DOI: 10.5194/tc-14-4525-2020.

15. Wetterich, S., Rudaya, N., Nazarova, L., Syrykh, L., Pavlova, M., Palagushkina, O., Kizyakov, A., Wolter, J., Kuznetsova, T., Aksenov, A., Stoof-Leichsenring, K.R., Schirrmeyer, L., Fritz M. Paleo-Ecology of the Yedoma Ice Complex on Sobo-Sise Island (Eastern Lena Delta, Siberian Arctic) // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9, 681511. DOI: 10.3389/feart.2021.681511.

Dynamics of quality and results of monitoring the content of petroleum products in the rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (Russia)

Lavrenko Natal'ya Yur'evna 

Researcher; FGBI Hydrochemical Institute

198 Stachki Ave., Rostov-on-Don, Rostov region, 344090, Russia

 natuciy87@gmail.com

Romanyuk Oksana L'vovna 

PhD in Geography

Leading Researcher; FGBI Hydrochemical Institute

198 Stachki str., Rostov-on-Don, Rostov region, 344090, Russia

 natuciy87@gmail.com

Rogozina Tat'yana Vasil'evna 

Junior Researcher; FGBI Hydrochemical Institute

198 Stachki str., Rostov-on-Don, Rostov region, 344090, Russia

 natuciy87@gmail.com

Abstract. The aim of the study is to assess the current state and dynamics of water quality in rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug over a long period. Particular attention is paid to the increased content of petroleum products in rivers' waters. The problems of pollution of water in the region associated with technogenic factors are presented in detail. The main sources of surface water pollution with petroleum products are considered. The ongoing active industrial development of hydrocarbon reserves in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug is a determining economic factor in the region, and, in turn, determines the need to control changes in the ecological state of the environment. This paper describes the factors that influence the chemical composition of surface waters. The formation of the quality of waters of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug in the proximity of the cold Kara Sea and the presence of permafrost, as well as increasing anthropogenic influence, is considered. An analysis of long-term hydrochemical information from the state observation network of Roshydromet has been carried out, allowing to assess changes in the content of petroleum products in the surface waters of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug for the period 2014-2023. The

spatiotemporal changes in the content of petroleum products in the water of the Ob, Pur, Taz, and Nadym river basins in 2014-2023 are considered. Analysis of the dynamics of the content of petroleum products in the water of the river basins of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug over a long-term plan revealed multidirectional levels of water pollution. Increased concentrations of petroleum products in river water are due to both physical-geographical, hydrological and climatic processes, as well as an increase in the level of technogenic impact of oil and gas production complexes.

Keywords: dissolved oxygen content, long-term trend, salinity, surface water quality, petroleum products, river basin Pur, anthropogenic impact, river basin Taz, river basin Nadym, river basin Ob

References (transliterated)

1. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2022 god / red. G. M. Chernogaeva. Moskva: Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet), 2023. 189 s.
2. Reshetnyak O. S., Kosmenko L. S., Danilenko A. O. Tendentsii izmenchivosti antropogennoi nagruzki na ust'evykh uchastkakh rek arkticheskoi zony Rossii // Sovremennye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod : Sbornik statei, posvyashchennyi 100-letiyu so dnya obrazovaniya Gidrokhimicheskogo instituta, Rostov-na-Donu, 22-24 sentyabrya 2020 goda. Chast' 1. – Rostov-na-Donu: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie «Gidrokhimicheskii institut», 2020. S. 129-133.
3. Likhacheva E. A., Chesnokova I. V., Koshkarev A. V., Nekrasova L. A., Morozova A. V. Metody i rezul'taty ekologogeomorfologicheskogo analiza Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii // Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Ekosistemy i klimat Arkticheskoi zony: Rasshirennye tezisy dokladov, Moskva, 25-27 noyabrya 2020 goda / Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Izraelya Yu. A. Institut geografii RAN. – Moskva: Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Izraelya Yu. A., 2020. S. 300-303.
4. Magritskii D. V., Frolova N. L., Agafonova S. A., Kireeva M. B., Chalov R. S., Efimova L. E., Yumina N. M., Sazonov A. A., Banshchikova L. S. Traditsionnye i novye gidrologicheskie riski v Arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii // Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Ekosistemy i klimat Arkticheskoi zony: Rasshirennye tezisy dokladov, Moskva, 25-27 noyabrya 2020 goda / Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Izraelya Yu. A. Institut geografii RAN. – Moskva: Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Izraelya Yu. A., 2020. S. 253-257.
5. Ezhegodnik «Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiiskoi Federatsii za 2023 god» / red. M. M. Trofimchuk. Rostov-na-Donu: GKhI, 2024. 426 s.
6. Ivanov Yu. K., Beshentsev V. A. Paleogeograficheskie aspekty formirovaniya khimicheskogo sostava presnykh podzemnykh vod Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga// Litosfera, 2005, № 4. S. 188-196.
7. Lobchenko E. E., Minina L. I., Nichiporova I. P., Lavrenko N. Yu. Otsenka dinamiki kachestva poverkhnostnykh vod Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okrug / // Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Osnovnye rezul'taty i puti razvitiya: tezisy dokladov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, Moskva, 20-22 marta 2017 goda / FGBU «Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN». – Moskva: Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN, 2017. S. 518-520.

8. Reshetnyak O. S., Bryzgalo V. A., Kosmenko L. S. Regional'nye osobennosti vysokogo urovnya zagryaznenosti rek Ob'-Irtyshskogo basseina // Voda: khimiya i ekologiya, 2013, № 6. S. 3-9.
9. Nikanorov A. M., Bryzgalo V. A., Kosmenko L. S., Danilenko A. O. Reki materikovoi chasti Rossiiskoi Arktiki. Rostov n/D.: Izd-vo Yuzhn. fed. un-ta, 2016. 276 s.
10. Reshetnyak O. S., Danilenko A. O., Kosmenko L. S., Kondakova M. Yu. Tendentsii izmenchivosti khimicheskogo sostava rechnykh vod Zapadno-Sibirskoi chasti Arkticheskoi zony Rossii // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki, 2019, № 3(203). S. 70-79.
11. Kondakova M. Yu., Danilenko A. O., Kosmenko L. S. Izmenchivost' stepeni zagryaznenosti rechnykh vod i sostoyaniya vodnykh ekosistem v basseine R. Ob' // Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy: prizemnyi klimat, zagryaznyayushchie i klimaticheski aktivnye veshchestva: Materialy III vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 15-17 noyabrya 2023 goda. – Moskva: Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Izraelya Yu. A., 2023. S. 244-248.
12. Doklad «Ob ekologicheskoi situatsii v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okrufe v 2023 godu» / Departament prirodykh resursov i ekologii YaNAO – Salekhard, 2024. 65 s.
13. Uvarova V. I. Otsenka khimicheskogo sostava vody i donnykh otlozhenii r. Nadym // Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya, 2011. S. 143-153.
14. Ezhegodnik «Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiiskoi Federatsii za 2022 god» / red. M. M. Trofimchuk. Rostov-na-Donu: GKhi, 2023. 447 s.
15. Deryagina S. E. Poverkhnostnye vody v granitsakh Yamal'skogo raiona Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga: kharakteristika, ekologicheskie aspekty / S. E. Deryagina, O. V. Astaf'eva // Problemy regional'noi ekologii. – 2018, № 1. S. 37-41.
16. Magritsky D. V., Frolova N. L., Pakhomova O. M. Potential hydrological restrictions on water use in the basins of rivers flowing into Russian Arctic seas – Geography, environment, sustainability, 2020. Vol. 2, pp. 25-34. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-59.
17. Mikhailov I. S., Mikhailov S. I. Opyt sozdaniya i soderzhanie pochvenno-ekologicheskoi karty Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga // Byul. Pochv. in-ta im. V. V. Dokuchaeva. 2017. Vyp. 87. S. 55-72.
18. Samoilova G. S., Chistyakova N. F., Goryachko M. D., Fedorova N. V., Prokina A. N., Pavlinov P. S. YaMALO-NENETsKII AVTONOMNYI OKRUG // Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya. Tom 35. Moskva, 2017. S. 698-701.
19. Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga / pod red. S. I. Larina. – Omsk: FGUP «Omskaya kartograficheskaya fabrika», 2004. 154 s.
20. Weiss N., Kaal J. Characterization of labile organic matter in Pleistocene permafrost (NE Siberia), using Thermally assisted Hydrolysis and Methylation (THM-GC MS) // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 117. pp. 203-213. <https://doi.org/10.5194/bg-17-361-2020>.
21. Ivanov A. I., Mereido V. A., Prokop'eva K. N., Tarbeeva A. M., Kolesnikov R. A., Chalov S. R. Sovremennye usloviya gidrologicheskikh protsessov malykh rek yuga Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga// Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. 2023. № 3. (120). S. 52-75.
22. RD 52.24.643-2002. Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznenosti poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam. SPb: Gidrometeoizdat, 2003. 49 s.

23. Uvarova V. I. Otsenka khimicheskogo sostava vody i donnykh otlozhenii r. Nadym. // *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2011. S. 143-153.
24. Gurlev I. V., Makosko A. A., Malygin I. G. Ekologicheskie problemy Arkticheskoi zony Rossii na primere Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga // *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2024. T. 14, № 3. S. 370-383.
25. Lavrenko N. Yu. Rezul'taty monitoringa kachestva vody basseinov rek Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga / N. Yu. Lavrenko, O. L. Romanyuk, T. V. Rogozina // *Kompleksnye issledovaniya vodokhranilishch i ikh vodosborov : Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyi 100-letiyu so dnya rozhdeniya Yu. M. Matarzina*. – Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2024. S. 124-129.
26. Dinamika kachestva vody krupnykh rechnykh basseinov Rossiiskoi Federatsii. / red. Minina L. I. – Rostov-na-Donu, 2015. 47 s.