

[www.aurora-group.eu](http://www.aurora-group.eu)

ISSN 2453-8922

[www.nbpublish.com](http://www.nbpublish.com)

# АРКТИКА и АНТАРКТИКА

**AURORA Group s.r.o.**  
**nota bene**

# Service Unavailable

The server is temporarily unable to service your request due to maintenance downtime or capacity problems. Please try again later.

## Publisher's imprint

Number of signed prints: 10-04-2024

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

Publisher: NB-Media ltd

Main editor: Vasil'chuk Yuriy 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](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](mailto: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](mailto: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.*

**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](mailto:salex@crust.irk.ru)

**Галкин Александр Фёдорович** - доктор технических наук, Институт мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН, Главный научный сотрудник, 677010, Россия, республика Саха(Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, 4-1, [afgalkin@yandex.ru](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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 Geoecology of the North, Moscow, Russia, 119234. [alla-vasilch@yandex.ru](mailto: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.*

**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](mailto: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, Kulakovsky str., 4-1, [afgalkin@yandex.ru](mailto: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](mailto: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](mailto:n.v.yakovenko71@gmail.com)

## Требования к статьям

Журнал является научным. Направляемые в издательство статьи должны соответствовать тематике журнала (с его рубрикаторм 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.e-notabene.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 сноску, не содержащую ссылку на источник, например, разъяснение термина, включите сноску 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 уголками (« ») 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](mailto: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 невозстановимые 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. Особенно важно задокументировать точный 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**

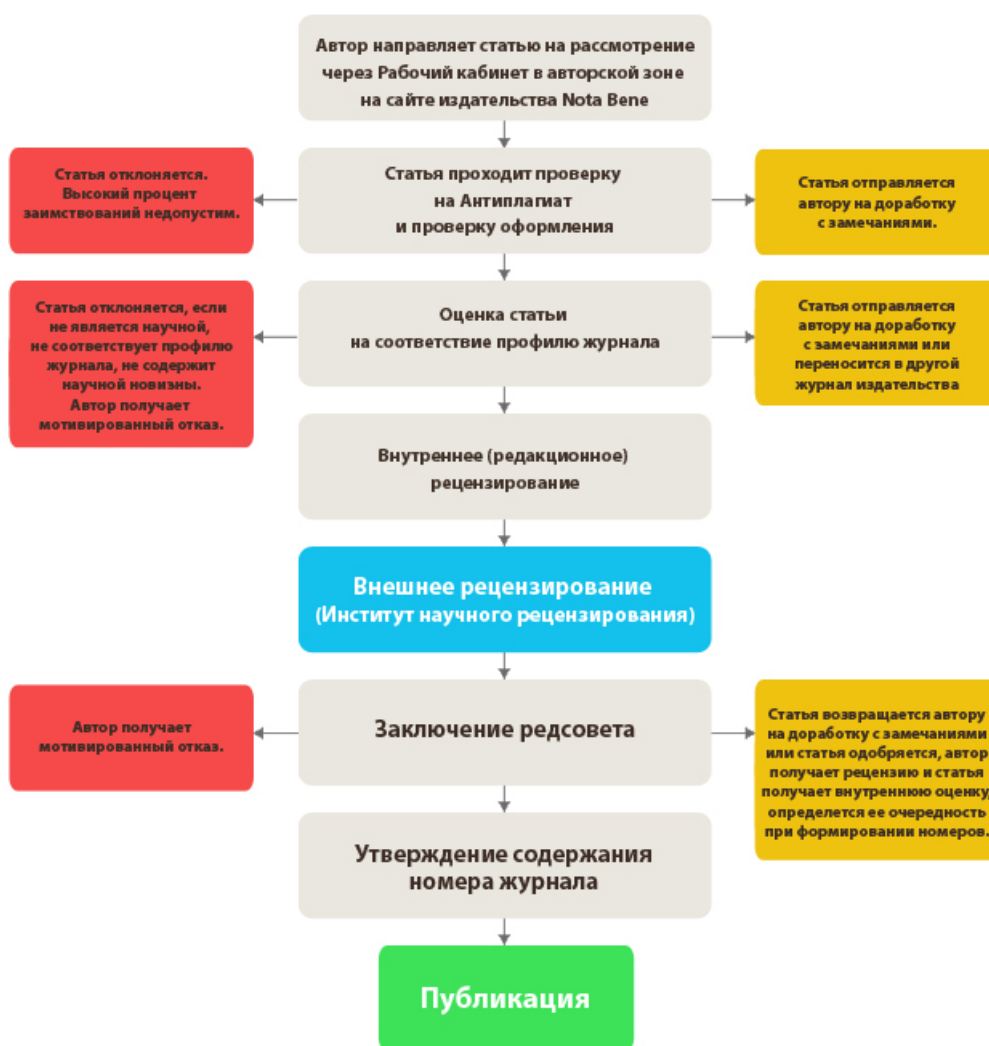
Вы могли заметить, с какой уверенностью ChatGPT описал идеи латерализации мозга и то, как работает мозг, не ссылаясь ни на какие источники. Я попросил список источников, подтверждающих эти утверждения, и ChatGPT предоставил пять ссылок, четыре из которых мне удалось найти в Интернете. Пятая, похоже, 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

|  |    |
|--|----|
| Фролов Д.М., Селиверстов Ю.Г., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Николаева Е.С.<br>Использование машинного обучения для классификации стратиграфических слоев<br>снежной толщи по данным устройства snow micro rep  | 1  |
| Забелина А.В. Исследование процессов метанообразования при размещении отходов<br>на полигонах ТКО на северных территориях  | 12 |
| Землянскова А.А., Нестерова Н.В., Макарьева О.М. Изменение ледового режима рек<br>Северо-Востока России  | 20 |
| Васильчук Ю.К., Гинзбург А.П., Токарев И.В., Буданцева Н.А., Васильчук А.К.,<br>Паламарчук В.А., Блудушкина Л.Б., Слышкина Е.С. Морфология наледи Булуус,<br>Улахан-Тарын, условия ее залегания и распределение стабильных изотопов<br>кислорода и водорода в нижней части | 34 |
| Павлов Б.А. Карта почвенного покрова Ольского участка заповедника «Магаданский»<br>(полуостров Кони)   | 62 |
| Англоязычные метаданные  | 98 |

## Contents

|   |    |
|---|----|
| Frolov D.M., Seliverstov Y.G., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E., Nikolaeva E.S. Using Machine Learning to Classify Stratigraphic Layers of Snow According to the Snow Micro Pen Device  | 1  |
| Zabelina A.V. Investigation of methane formation processes during waste disposal in the northern territories  | 12 |
| Zemlianskova A.A., Nesterova N.V., Makarieva O.M. The ice regime of the northeastern Russia   | 20 |
| Vasil'chuk Y.K., Ginzburg A.P., Tokarev I.V., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Palamarchuk V.A., Bludushkina L.B., Slyshkina E.S. Morphology of the Buluus, Ulakhan-Taryn aufeis, conditions of its occurrence and stable oxygen and hydrogen isotope variations in the lower part | 34 |
| Pavlov B.A. Map of the soil cover of the Olsky section of the Magadan Nature Reserve (Koni Peninsula)   | 62 |
| Metadata in english   | 98 |

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Фролов Д.М., Селиверстов Ю.Г., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Николаева Е.С. Использование машинного обучения для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro pen // Арктика и Антарктика. 2024. № 1. С. 1-11. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.69404 EDN: GDSACR URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=69404](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69404)

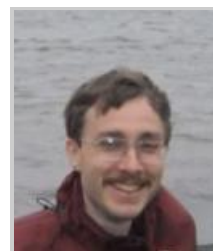
## Использование машинного обучения для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro pen

**Фролов Денис Максимович**

научный сотрудник, Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 1904Б

✉ [denisfrolov@mail.ru](mailto:denisfrolov@mail.ru)



**Селиверстов Юрий Германович**

научный сотрудник, географический факультет, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

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

✉ [yus5@yandex.ru](mailto:yus5@yandex.ru)



**Кошурников Андрей Викторович**

научный сотрудник, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

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

✉ [koshurnikov@msu-geophysics.ru](mailto:koshurnikov@msu-geophysics.ru)



**Гагарин Владимир Евгеньевич**

научный сотрудник, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

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

✉ [gagar88@yandex.ru](mailto:gagar88@yandex.ru)



**Николаева Елизавета Сергеевна**

студент, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

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

✉ [nikolaeva\\_lizaveta@mail.ru](mailto:nikolaeva_lizaveta@mail.ru)



[Статья из рубрики "Климат"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2024.1.69404

**EDN:**

GDSACR

**Дата направления статьи в редакцию:**

22-12-2023

**Дата публикации:**

29-12-2023

**Аннотация:** Наблюдение за снежным покровом на площадке метеообсерватории сотрудниками географического факультета МГУ ведутся уже длительное время. В статье описываются особенности снегонакопления и стратиграфических исследований. В момент пришедшего в ночь с 14 на 15 декабря 2023 года в Москву третьего с начала снегонакопления циклона, была большая высота сугробов – на метеостанции ВДНХ высота снежного покрова составляла 31 см. За сутки до 15 декабря добавилось ещё 7 см и цифра 38 см стала рекордно большой. На метеостанции МГУ фиксировалась отметка в 49 см. Температура воздуха при этом к вечеру воскресенья 17 декабря поднялась и в последующие дни колебалась от 0 до +2 градусов. Последовала долгая оттепель, дождь и снеготаяние. На 21 декабря на метеостанции ВДНХ снежный покров осел до 24 см (то есть на 15 см), на метеообсерватории МГУ снежный покров осел до 28,5 см (с 49 см – почти на 20,5 см). Трудности классификации слоёв в снежной толще исследовались и исследуется многими практикующими метеорологами, что также рассмотрено в данной работе. Были использованы методы искусственного интеллекта (ИИ) для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro rep. Получающиеся в результате метаморфизма формы ледяных кристаллов в снежной толще (округлые→ограниченные→талые) различаются как по плотности, так и по параметрам, получаемым в результате обработки данных прибора Snowmicropen (MPF(N) – средняя сила сопротивления SD(N)- её стандартное отклонение, и cv- её ковариация). Это даёт возможность кластеризации обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования. Были обработаны полученные от прибора данные, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, делалось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи. В дальнейшем по имеющимся классифицированным данным прибора стратиграфических слоев снежной толщи методом кластеризации K-ближайших соседей оказалось возможным производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования.

**Ключевые слова:**

снежный покров, пространственно- временные неоднородности, МГУ, снежная толща, метеоплощадка, зимний сезон, снежный слой, зимний период, исследование,

неоднородность снежного покрова

*Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0), «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4).*

### **Введение**

В свете продолжающегося потепления климата 2023 стал самым тёплым годом за весь период наблюдений. Он был почти на 1,5°C теплее, чем аналогичные значения за базовый период наблюдений. Это служит причиной того, что Мировой океан прогревается, увеличивается испарение с его поверхности и поступление водяного пара в атмосферу. Происходит все большее сокращение площади морских льдов в Арктике, увеличивается площадь открытой воды и ее испарение в атмосферу. Увеличение концентрации водяного пара в атмосфере ведёт к нарушению циркуляционных процессов, отчего, в свою очередь, учащаются экстремальные природные явления. Так, например, аномальные снегопады в Европе (названные "Snow chaos") и на Европейской территории России 3-4 декабря 2023 года, также как последовавшие за ними холода и снова сильные снегопады были связаны, по мнению авторов, с интенсивным испарением с поверхности открытой воды морей и океанов в атмосферу.

Наблюдение за снежным покровом на площадке метеообсерватории ведутся сотрудниками географического факультета МГУ уже довольно длительное время [\[1, 2\]](#). Проблема классификации слоёв в снежной толще исследовалась многими авторами и ранее [\[3 – 8\]](#). В данной работе делается попытка использования методов ИИ для классификации и анализа данных о стратиграфических слоях снежной толщи по данным измерений устройства snow micro rep, по аналогии тому как, это было описано, например, в статьях [\[9, 10\]](#).

### **Материалы и методы**

В зимний сезон 2023-2024 года в Москве фактическая температура первой половины ноября по данным наблюдений составила 6,2°C [\[https://rp5.ru/\]](https://rp5.ru/), хотя норма среднемесячной температуры ноября в Москве составляет -0,5°C [\[http://www.pogodaiklimat.ru/\]](http://www.pogodaiklimat.ru/), и таким образом отклонение от нормы для первой половины месяца составило +6,7°C.

В Москве в первой половине ноября 2023 года стояла аномально теплая погода, превышающая среднюю норму ноября на несколько градусов. В целом, согласно новым климатическим нормам (1991–2020 гг.), устойчивый переход температуры воздуха за отметку 0°C в сторону отрицательных значений происходит в Москве с 12 ноября. Однако в 2022 году такой переход произошел 15 ноября, а в 2023 году он произошёл 17 ноября. Так что в 2023 году приход метеозимы в Москву (то есть момента, когда происходит устойчивый переход среднесуточных температур через ноль в сторону отрицательных значений) произошёл только 17 ноября. 23-24 ноября начал интенсивно выпадать снег и устанавливаться снежный покров. Так, на 24 ноября толщина снежного покрова в Москве составила 8 см, а на утро 25 ноября достигла порядка 15 см, что является самым высоким значением для 25 ноября с 2004 года и обычно достигается только к 17 декабря. Температура 24 и 25 ноября в Москве держалась около -6°C – -8°C градусов. Днём 26 количество снега не прибавилось, а температура повысился до -3°C. Вечером 26 и в ночь на 27 был очень сильный снегопад. Утром 27 ноября был также ледяной дождь, и днём 27 ноября наблюдалась небольшая оттепель до +2°C градусов. Толщина



снежного покрова 27 ноября в Москве на метеостанции ВДНХ составила 21 см. За ночь на 27 ноября выпало порядка 16 мм осадков. 28 ноября также прошёл небольшой снегопад. Утром 29 ноября в Москве похолодало до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Толщина снега в Москве на ВДНХ утром 29 ноября составила 18 см, и на момент исследований на метеоплощадке 29 ноября в снежной толще было обнаружено три снежных горизонта и корку. Результаты изучения снежного покрова на площадке метеообсерватории МГУ 29 ноября 2023 приведены на рисунке 1 и в таблице 1:

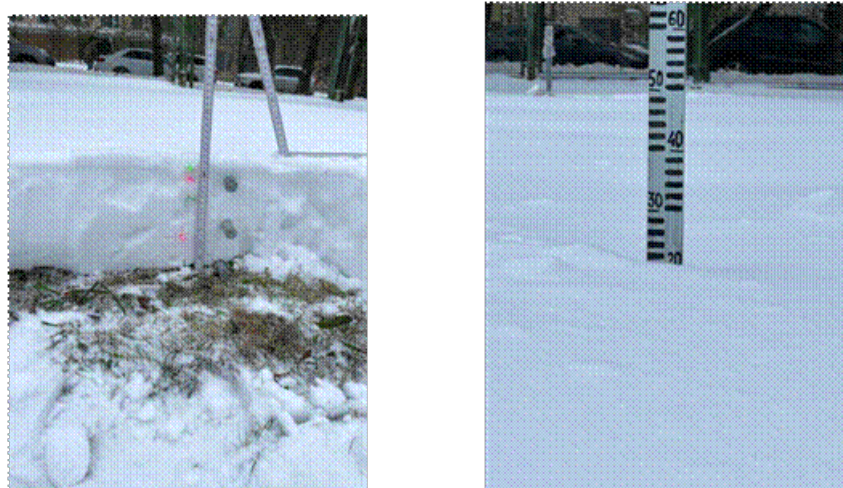


Рис. 1. Строение снежной толщи 29.11.2023 на метеоплощадке МГУ.

Таблица 1. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 29 ноября 2023 года.

|   | Слой, см |  |
|---|----------|--|
| 1 | 21-23    | Слой свежавыпавшего снега  |
| 2 | 19-21    | Ледяная корка  |
| 3 | 16-19    | Слой разрыхленного снега с ледяными образованиями с начальной стадией огранки и размером зёрен до 1 мм (155, 163, 155 ср. плотность $157 \text{ кг/м}^3$ ) |
| 3 | 9-16     | Слой мелкозернистого снега с размером зёрен 1 мм (проникают четыре пальца) (159, 161, 174 ср. плотность $164 \text{ кг/м}^3$ ) менее плотный, чем нижний   |
| 4 | 0-9      | Слой относительно уплотнённого сенега с размером зёрен 1-2 мм (проникает кулак) (212, 217, 214 ср. плотность $214 \text{ кг/м}^3$ )                        |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см)  $-0,2^{\circ}\text{C}$ , на уровне 10 см  $-2,2^{\circ}\text{C}$ , на уровне 20 см  $-5,6^{\circ}\text{C}$ , и на уровне 23 см  $-4,8^{\circ}\text{C}$ .

В последующие после наблюдения дни 29 и 30 были слабые снегопады, однако в ночь с 3 на 4 декабря в Москве выпало почти 15 мм осадков и толщина снежного покрова на метеостанции ВДНХ увеличилась до 36 см. (рисунок 2).

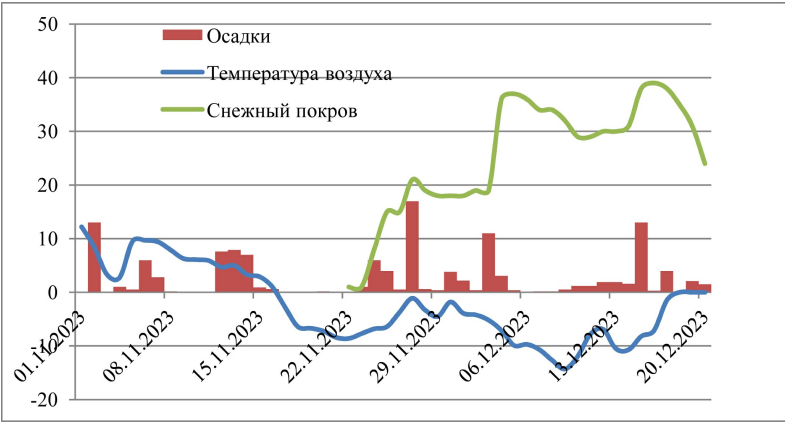


Рис. 2. Изменение температуры воздуха и толщины снежно покрова в Москве по метеостанции ВДНХ зимой 2023-2024 гг.

В последующие дни с 5 декабря держалась довольно холодная погода (-10°С и ниже).

На момент исследования 7 декабря в снежной толще наблюдалось около 7 слоёв (рис. 3).

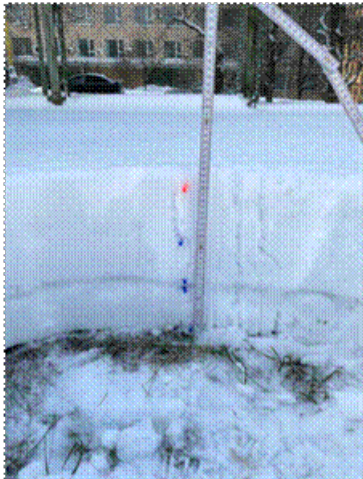


Рис. 3. Строение снежной толщи 7.12.2023 на метеоплощадке МГУ.

Таблица 2. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 7 декабря 2023 г.

|   | Слой, см |   |
|---|----------|---|
| 1 | 30-33    | Слой свежеснегавшего снега (обломанные ветровым переносом снежинки)   |
| 2 | 21-30    | Слой осевшего снега с размером кристаллов 1-2 мм. Не зернистый, но и не свежеснегавший. (143, 114, 102, 127, ср. плотность 121)   |
| 3 | 13-21    | Слой мелкозернистого снега с размером зёрен 1 мм и начальной стадией перекристаллизации (183, 205, 171, 179 ср. плотность 184 кг/м <sup>3</sup> )                                   |
| 4 | 11-13    | Ледяная корка   |
| 5 | 10-11    | Слой разрыхленного снега с ледяными включениями и с размером зёрен до 1 мм  |
| 6 | 4-10     | Слой мелко-среднезернистого снега с размером зёрен 1-2 мм с начальной стадией огранки (во все слои проникает кулак) (265, 235, 253, 249 ср. плотность 250 кг/м <sup>3</sup> ) менее |

|   |     |  |
|---|-----|--|
|   |     | плотный, чем нижний  |
| 7 | 0-9 | Слой относительно уплотнённого среднезернистого сенега с размером зёрен 2 мм (во все слои проникает кулак) |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см) -0°C, на уровне 10 см -2,2°C, на уровне 20 см -3,6°C, и на уровне 30 см -5,4°C, и на уровне 33 см -10,2°C.

В последующие дни также наблюдалась довольно холодная погода (около -10°C) и обильные снегопады. На момент исследования 14 декабря толщина снежного покрова составила 41 см, (на ВДНХ оставалось 31 см, рис. 2) и в снежной толще наблюдалось 8 слоёв (рис. 4).



Рис. 4. Строение снежной толщи 14.12.2023 на метеоплощадке МГУ

Таблица 3. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 14 декабря 2023 г.

|   | Слой, см |   |
|---|----------|---|
| 1 | 38-41    | Слой свежеснежавшего снега (низкотемпературные звездочки и столбики) (ср. плотность 50 кг/м <sup>3</sup> )  |
| 2 | 30-38    | Слой осевшего метелевого снега из поломанных снежинок (проникает кулак) (126, 120, 121, ср. плотность 122 кг/м <sup>3</sup> )                     |
| 3 | 18-30    | Слой мелко-среднезернистого снега с размером зёрен 1-2 мм (проникает кулак) (177, 173, 169 ср. плотность 173 кг/м <sup>3</sup> )                  |
| 4 | 11-18    | Слой более уплотненного мелко-среднезернистого (проникает кулак) (240, 230, 244 ср. плотность 238 кг/м <sup>3</sup> )                             |
| 5 | 9-11     | Ледяная корка   |
| 6 | 8-9      | Слой разрыхленного среднезернистого снега с ледяными включениями и с размером зёрен до 2 мм   |
| 7 | 3-8      | Слой более уплотнённого, чем верхний среднезернистого снега без огранки (проникает 4 пальца) (265, 281, 281 ср. плотность 275 кг/м <sup>3</sup> ) |
| 8 | 0-3      | Слой среднезернистого сенега с размером зёрен 2 мм (притёртая корка)  |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см) -0°C, на уровне 10 см -2,2°C, на уровне 20 см -2,8°C, и на уровне 30 см -6,8°C, и на уровне 40 см -9°C.

В ночь с 14 на 15 декабря 2023 года на Москву пришел циклон, сформировавшийся над

Балканами. Это был уже третий циклон с момента начала снегонакопления. В Москве и до ночного снегопада высота сугробов была выше нормы – 14 декабря на метеостанции ВДНХ высота снежного покрова составляла 31 см. Засутки до 15 декабря добавилось ещё 7 см, главным образом за счёт ночного снегопада и цифра 38 см стала не просто большой, а рекордно большой. До этого самые высокие сугробы 15 декабря фиксировались больше 100 лет назад, в 1919 году, и их высота составляла 32 см. Другие московские метеостанции отметили ещё большую высоту снега: Балчуг – 43 см, МГУ – 49 см! В Подмоскovie больше всего снега было в Коломне – 47 см.

Температура воздуха при этом к вечеру воскресенья 17 декабря поднялась, так как столица попала в теплый сектор и в последующие дни температура воздуха колебалась от 0 до +2 градусов. Была долгая оттепель, дождь и снеготаяние. На 21 декабря на метеостанции ВДНХ снежный покров осел до 24 см (то есть на 15 см), на метеообсерватории МГУ снежный покров осел до 28,5 см (с 49 см – то осел есть почти на 20,5 см). Наблюдавшееся обильное снегонакопление и последующее интенсивное снеготаяние создали условия и угрозу паводковых ситуаций на водных объектах Москвы и Московской области.

Машинное обучение – это использование математических моделей при обработке данных, которые помогают компьютеру обучаться без дополнительных инструкций со стороны. Оно считается одной из форм искусственного интеллекта (ИИ). При машинном обучении с помощью алгоритмов и моделей выявляются те или иные закономерности в данных. Основными алгоритмами машинного обучения являются линейная регрессия, логарифмическая регрессия, дерево решений, метод К-ближайших соседей (рис. 5) и другие.


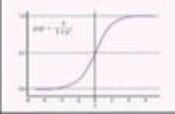

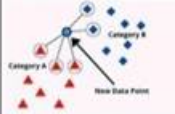
| Представление   | Алгоритмы маш. обуч.      |
|---|---------------------------|
|  | Линейная регрессия        |
|  | Логарифмическая регрессия |
|  | Дерево решений            |
|  | К-ближайшие соседи        |

Рис. 5. Основные алгоритмы машинного обучения и их представление

Сущность этих алгоритмов достаточно хорошо освещена в литературных источниках [\[11-12\]](#).

### Результаты и обсуждение

В данной работе нами предпринята попытка использования методов ИИ для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro pen. Snow micro pen (или snow micro penetrometer) – это устройство, позволяющее путем вдвигания в снег щупа с датчиком механического сопротивления определить твердость слоев снега с шагом в 4 микрометра [\[13-15\]](#) (рис.

6).



Рис. 6 внешний вид работы прибора Snow micro pen

Данные прибора были обработаны, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, производилось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи. В дальнейшем оказалось возможным по имеющимся классифицированным данным прибора стратиграфических слоев снежной толщи методом кластеризации К-ближайших соседей производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования (рис. 7).

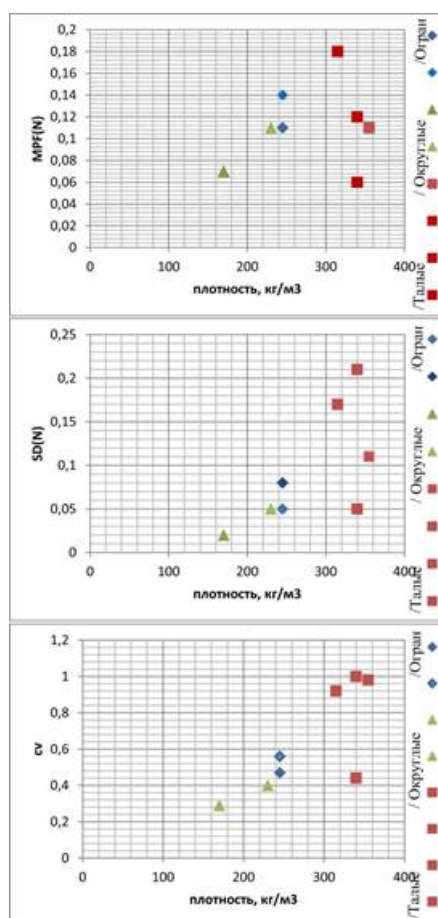


Рис. 7. Классификация типов стратиграфических слоёв по данным прибора Snowmicropen.

На рис. 7 видно, что получающиеся в результате метаморфизма формы ледяных кристаллов в снежной толще (округлые -> оgranённые -> талые) различаются как по



плотности, так и по параметрам, получаемым в результате статистической обработки данных прибора Snowmicropen (MPF(N)- средняя сила сопротивления SD(N)- её стандартное отклонение, и cv- её ковариация). Это даёт возможность кластеризации обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений прибора без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования. Таким образом, были обработаны полученные от прибора данные, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, делалось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи и оказалось возможным производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования, которое занимает много сил и времени и может вносить некоторый элемент неопределенности от "человеческого фактора" в ход стратиграфических исследований снежной толщи. Подобная автоматизация ведёт к ускорению и повышению качества стратиграфических исследований снежной толщи, что существенно важно при изысканиях на предмет возникновения слоёв разрыхления и лавинной опасности на склонах гор.

## Библиография

1. Frolov D.M., Seliverstov Y.G., Sokratov S.A., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E., Nikolaeva E.S. Investigation of the Spatio-Temporal Heterogeneity of Snow Thickness at the Meteorological Site of the Lomonosov MSU in the Winter of 2022/2023 // Arctic and Antarctic. – 2023. – № 1. – P. 1 - 13. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.1.40448.2 EDN: PGRHXP URL: [https://en.nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=40448](https://en.nbpublish.com/library_read_article.php?id=40448)
2. D.M. Frolov, G.A. Rzhantsyn, S.A. Sokratov, et. al., Monitoring of seasonal variations in ground temperature at the observation site of Lomonosov MSU // E3S Web of Conferences 371, 03004 (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202337103004
3. Proksch M., Rutter N., Fierz Ch., Schneebeli M. Intercomparison of snow density measurements: bias, precision, and vertical resolution // The Cryosphere. 2016, 10 (1):371–384. <https://doi.org/10.5194/tc-10-371-2016>
4. Sturm M., Holmgren J., Liston G.L. A seasonal snow cover classification system for local to global applications // Journ. of Climate. 1995, 8 (5 (Part 2)): 1261–1283. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)0082.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)0082.0.CO;2)
5. Fierz Ch., Armstrong R.L., Durand Y., Etchevers P., Greene E., McClung D.M., Nishimura K., Satyawali P.K., Sokratov S.A. . The international classification for seasonal snow on the ground (UNESCO, IHP (International Hydrological Programme) // VII, Technical Documents in Hydrology, No 83; IACS (International Association of Cryospheric Sciences) contribution No 1). 2009.
6. Colbeck, S.: A review of the metamorphism and classification of seasonal snow cover crystals, IAHS Publication. 1987. 162, 3–24.
7. Ménard, C. B., Essery, R., Barr, A., Bartlett, P., Derry, J., Dumont, M., Fierz, C., Kim, H., Kontu, A., Lejeune, Y., et al.: Meteorological and evaluation datasets for snow modelling at 10 reference sites: description of in situ and bias-corrected reanalysis data, Earth System Science Data. 2019. 11, 865–880.
8. King, J., Howell, S., Brady, M., Toose, P., Derksen, C., Haas, C., and Beckers, J.: Local-scale variability of snow density on Arctic sea ice // The Cryosphere. 2020. 14, 4323–4339.
9. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Pre-trained Models for SMP Classification and Segmentation. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7063521>.
10. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Automatic snow type classification of snow micropenetrometer profiles with machine learning algorithms //

- Geosci. Model Dev., 2023.16, 4521–4550, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-4521-2023>.
11. Nguyen, N. and Guo, Y.: Comparisons of sequence labeling algorithms and extensions. // Proceedings of the 24th international conference on Machine learning, 2007. P. 681–688.
  12. Lemaître, G., Nogueira, F., and Aridas, C. K. Imbalanced-learn: A python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning // The Journal of Machine Learning Research. 2017. 18, 559–563. 2017.
  13. Schneebeli, M. and Johnson, J. B.: A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy // Annals of Glaciology. 1998. 26, 107–111.
  14. Löwe, H. and Van Herwijnen, A.: A Poisson shot noise model for micro-penetration of snow // Cold Regions Science and Technology. 2012. 70, 62–70.
  15. Johnson, J. B. and Schneebeli, M. Snow strength penetrometer. US Patent 5. 1998. 831,161.

## Результаты процедуры 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, история геокриологического изучения и исследований использования искусственного интеллекта для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro rep.

Методология исследования, в статье не указаны, но исходя из анализа статьи можно сделать вывод о использовании методов анализа литературных данных и сделана попытка использования методов искусственного интеллекта для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro rep или snow micro penetrometer - это устройство, позволяющее путем вдвигания в снег щупа с датчиком механического сопротивления определить твердость слоев снега с шагом в 4 микрометра.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении существенной информацией по наблюдению за снежным покровом, которые «... ведутся на площадке метеообсерватории сотрудниками географического факультета МГУ уже длительное время». Однако авторам статьи следует обратить внимание на постоянное наблюдение, производимые не только учебным заведением в конкретной точке нашей страны, сделав анализ снежного покрова за многолетний период для выявления закономерностей выпадения осадков в зимний период времени. Исследования автора статьи помогают понять механизм повышения точности трансформации снежного покрова.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований сделать вывод о возможности кластеризации этих обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений прибора без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования с использованием нового для исследования снежного покрова прибора.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья представляет собой аналитический обзор достаточно большого спектра литературных источников по проблеме исследования. Однако есть ряд пожеланий, в частности, автору статьи следовало бы, по нашему мнению, необходимо название статьи использовать общепринятые терминологические понятие, а не устоявшиеся англоязычные речевые обороты давайте форме аналогичных научных понятий и терминов. Тоже самое замечание касается и аббревиатуры, в частности ИИ - искусственный интеллект, в тоже

время не является научным, а публицистическим. Широко используемый искусственный интеллект скорее всего верным было обозначений как искусственный генератор текста или поисковик, по крайней мере, перспективные направления в классификации, систематизации и анализе информации интеллектуальной деятельности отношение не имеет.

Высказываемые авторами положение о том что, «аномальные снегопады в Европе (названные "Snow chaos") и на Европейской территории России 3-4 декабря 2023 года, также как последовавшие за ними холода и снова сильные снегопады были связаны, по мнению авторов, с интенсивным испарением с поверхности открытой воды морей и океанов в атмосферу» декларативны, не обоснованы и не имеют под собой основы в долгосрочной анализе погодно-климатических условий.

Высокоточный металлический твердый внутренний измеритель плотности, электронный гидрометр с защитой от повреждений и трелеев, гидрометр комплект приборов традиционно используемых при исследовании снежного покрова, аналог снежной микроручки (snow micro pen.). Безусловно удобство изучения непосредственно связанные с компьютерной обработкой полученных данных даёт обширный материал для выявления принципов и закономерностей, которым статье посвящено лишь 15 строк в разделе Результаты и обсуждение.

Автор попытался иллюстрировать разнообразными визуализированными формами информации от таблицы и графиков до схем и фотографий.

Автору статьи следовало бы поместить авторские фотографии при проведении своих работ, а не брать их с портала «Комплексный портал по предотвращению лавин» (Рисунок 6 внешний вид работы прибора Snow micro pen ([www.slf.ch/en](http://www.slf.ch/en)) — <https://whiterisk.ch/en/welcome>).

Библиография весьма обширна для такого объема статьи и для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты.

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

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах отсутствуют обобщения, позволившие применить полученные результаты. Фрагментарный материал о машинном обучении и его алгоритме в данной статье нам кажется представляется излишним. Существует необходимость выводов от целеполагания авторов статьи и достигнутых результатов в процессе исследования. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Забелина А.В. — Исследование процессов метанообразования при размещении отходов на полигонах ТКО на северных территориях // Арктика и Антарктика. – 2024. – № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.69462 EDN: DMFOAF URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=69462](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69462)

## Исследование процессов метанообразования при размещении отходов на полигонах ТКО на северных территориях

Забелина Александра Викторовна

преподаватель практики, кафедра инженерной защиты окружающей среды, Университет ИТМО

197101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кронверкский пр-Т, 49

✉ [zabelina-eco@mail.ru](mailto:zabelina-eco@mail.ru)



---

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

### DOI:

10.7256/2453-8922.2024.1.69462

### EDN:

DMFOAF

### Дата направления статьи в редакцию:

26-12-2023

### Дата публикации:

02-01-2024

**Аннотация:** Метан является одним из наиболее значимых парниковых газов. В отличие от углекислого газа, метан — короткоживущий парниковый газ с временем жизни около 10 лет, однако из-за значительно более высокой парниковой активности (по оценкам ученых, она, как минимум, в 25 больше, чем у углекислого газа), его влияние на суммарный разогрев очень значительно. Наибольшее влияние процессы глобального потепления оказывают на биосферу и экосистему арктических территорий. Таяние вечной мерзлоты может привести к изменениям в почвенном составе и геологических процессах. Поэтому образование метана в условиях арктических и субарктических территорий является достаточно актуальным вопросом. Целью данной работы является изучение количества выделяемого метана на полигонах твердых коммунальных отходов.

В статье рассматриваются результаты исследования процессов метанообразования на полигонах, близких к постэксплуатационному периоду. Данные в работе получены путем применения технологии шурфования массива коммунальных отходов. В статье рассматривались полигоны субарктической и арктической зоны. В работе приведены усредненные данные по полученным результатам выделения метана на различных полигонах. Получено, что объемная доля метана в составе свалочного газа из массива отходов, размещенных за последние два года, может достигать 61 %. Однако в утвержденной методике по расчетам выбросов от полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) учет выбросов за последние два года носит рекомендательный характер, что создает предпосылки для корректировки методики по результатам инструментальных измерений. Полученные результаты позволяют более точно оценить углеродные единицы, получаемые при внедрении на полигонах ТКО наилучших доступных технологий, что особенно важно в рамках реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г.

**Ключевые слова:**

полигон ТКО, выбросы, твердые коммунальные отходы, метан, шурфование, изменение климата, субарктическая зона, свалочные газы, методика измерений, Арктика

**1. Введение**

Одной из зон в Российской Федерации, для которых актуальная проблема корректного учета метана и других выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в составе свалочного газа, является Арктическая зона. Несмотря на низкую плотность населения потребность в высокоэффективных объектах по обращению с ТКО здесь достаточно актуальна. Климатические особенности региона расположения, геоэкологические особенности строения полигонов ТКО, технологии, применяемые при размещении ТКО с учетом наилучших доступных технологий (НДТ) в совокупности должны учитываться при расчете образования и нормировании выбросов.

Согласно данным сводной отчетности 2-ТП (отходы), формируемой Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, по состоянию на конец 2022 года размещение отходов производства и потребления, в целом, остается основным видом обращения с твердыми коммунальными отходами (Далее – ТКО) [\[1-4\]](#).

В настоящее время нормирование и расчет выбросов от полигонов ТКО проводится по утвержденной в 2004 г. «Методике расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов» [\[5-8\]](#). В ней расчет выбросов свалочного газа ведется по количеству размещаемых отходов с нарастающим итогом за каждый календарный год. Выбросы рассчитываются исходя из содержания органической составляющей, жироподобных, углеводородных и белковых веществ в органике, а также с учетом средней влажности отходов.

Период активного выделения метана не учитывает геохимических и климатических особенностей региона, где расположен полигон; последние два года размещения отходов допускается исключать из рассмотрения в связи с отсутствием стабильного выделения метана в поверхностных слоях тела полигона [\[9-13\]](#).



Кроме того, методика 2004 года не учитывает неоднородности тела полигона, различную плотность отходов в зависимости от глубины их залегания и, соответственно, неравномерности скоплений свалочного газа [\[14-16\]](#).

С целью подтверждения гипотезы о том, что неоднородность строения тела полигона на стадии постэксплуатационного обслуживания и завершения жизненного цикла как объекта размещения отходов, приводит к неоднородности скоплений и выбросов свалочного газа в летний период 2022 года было проведено исследование объемно-плотностных характеристик; в 2023 году выполнено газогеохимическое обследование исследуемых объектов размещения отходов в Ленинградской области и в г. Норильске. Исследуемые полигоны приближаются к периоду рекультивации.

**Цель данного исследования** – проанализировать особенности процессов метанообразования на полигонах ТКО.

## **2. Методика и методы проведения исследований.**

На первом этапе исследований методом RTK (Real Time Kinematic), который заключается в спутниковом позиционировании с высокой степенью точности (до 1 см), в режиме статических определений и перемещений от точки к точке в течение одного сеанса исследования с подключением к сети «Геоспайдер» [\[17\]](#), была выполнена топографическая съемка рельефа и контура тела полигона с сечением рельефа горизонталями через один метр. Полученные данные были выгружены в программу AutoCad.

На втором этапе для исследования объемно-плотностных характеристик полигона ТКО было выполнено бурение шурфов для отбора проб [\[18, 19\]](#). Исследование объемной плотности проводилось только на горизонтальной поверхности полигона, боковые откосы не исследовались в связи с технической невозможностью установки на них бурильной техники. Производился забор проб из тела полигона: с поверхностного слоя отходов и в слоях на глубине до 51 метра. За представительную пробу принималась такая проба, которая при проходе скважины на заданную глубину полностью заполняла объем колонковой трубы, и при подъеме которой не происходила потеря значительной части объема пробы. Для определения объема отобранной пробы выполнялись обмеры колонковой трубы и глубины забоя.

На третьем этапе для исследования состава свалочного газа в поверхностных слоях отработанных карт полигона было выполнено газогеохимическое обследование территории методом поверхностной шпуровой съемки отработанных карт полигона с установкой точек наблюдения. Проводился отбор проб воздуха из шпуров и измерение объемной доли компонентов свалочного газа – CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>.

На теле полигона выход на точку измерений осуществлялся с помощью GPS-навигатора, производилась оценка условий измерений и препятствующих факторов. Исследование полученной в результате отбора проб газо-воздушной смеси проводилось в каждой точке газоанализатором, воздухопровод которого соединялся через силиконовые патрубки с трубой шпура.

Забивка шпура осуществлялась на глубину 0,8 метра, что соответствует глубине последнего года размещения отходов. Исследования проводились на площади 5,7 га в 23 точках. Шпур имеет перфорацию на глубине места отбора для свободного притока воздуха в измерительный тракт. Данные, полученные при измерениях, фиксировались в

полевым журнале.

Измерения проводились при метеорологических условиях, соответствующих рабочим параметрам средств измерений. Обследования проведены с помощью приборов ПГА-1, ПГА-300, МАГ-6 П-В, которые имеют руководства по эксплуатации и действующие свидетельства о поверке. Метеорологические условия при проведении измерений соответствовали допустимым.

### 3. Результаты исследования

Результаты исследования объемно-плотностных характеристик тела полигона ТКО представлены в таблице 1.

| Глубина слоя размещения отходов от поверхности, м | Плотность свалочных масс, т/м <sup>3</sup> |
|---|--|
| 0-1   | 0,27                                       |
| 1-5   | 0,59                                       |
| 5-10  | 0,88                                       |
| 10-20   | 0,98                                       |
| 20-30   | 1,07                                       |
| 30-40   | 1,15                                       |
| >40   | 1,19                                       |

Результаты эксперимента по измерению объемно-плотностных характеристик полигона ТКО показали, что плотность в нижних слоях размещения отходов значительно превышает плотность в поверхностных слоях свалочных масс.

Результаты проведенного газогеохимического исследования (рисунок 2) и измерение концентраций отдельных компонентов свалочного газа показали отсутствие определяемых концентраций (ниже предела обнаружения), что позволяет сделать вывод, что отходы, размещенные более 15 лет назад, не участвуют в образовании свалочного газа.

За счет естественных процессов оседания тела полигона под действием силы гравитации, из слоев отходов, размещенных более 15 лет назад свалочный газ переместился в более верхние слои через естественные техногенные разрывы. Осуществление активной дегазации способствовало высвобождению свалочного газа из нижних слоев отходов, представляющих на данный момент стабильное и инертное основание тела полигона.



Рисунок 2. Процесс газогеохимического исследования на объекте размещения твердых коммунальных отходов [\[20\]](#).

В ходе эксперимента также были получены данные о существенных концентрациях метана в верхних слоях отходов, размещенных за последние два года эксплуатации полигона ТКО, которые не учитываются при расчете, нормировании и контроле выбросов от объектов размещения отходов. Результаты газогеохимического обследования с получением данных об объемных долях концентраций метана и диоксида углерода представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты газогеохимических исследований

| Номер точки отбора                              | Метан,<br>% (об.д.) | Углерода оксид,<br>% (об.д.) |
|---|---------------------|------------------------------|
| 1   | 1,11                | 0,00                         |
| 2   | 0,46                | 11,02                        |
| 3   | 61,00               | 10,56                        |
| 4   | 37,80               | 10,89                        |
| 5   | 36,60               | 11,21                        |
| 6   | 48,30               | 10,55                        |
| 7   | 3,55                | 10,98                        |
| 8   | 33,50               | 11,68                        |
| 9   | 11,20               | 11,88                        |
| 10  | 0,05                | 0,24                         |
| 11  | 35,80               | 10,05                        |
| 12  | 29,80               | 1,43                         |
| 13  | 15,50               | 10,98                        |
| 14  | 14,90               | 11,51                        |
| 15  | 0,00                | 0,00                         |
| 16  | 14,70               | 11,12                        |
| 17  | 34,20               | 10,85                        |
| 18  | 11,50               | 11,81                        |
| 19  | 5,51                | 11,22                        |
| 20  | 8,30                | 11,55                        |
| 21  | 11,50               | 10,95                        |
| 22  | 0,41                | 7,78                         |
| 23  | 57,40               | 11,68                        |
| Среднегодовой<br>показатель на глубине<br>0,8 м | <b>21,85</b>        | <b>9,13</b>                  |

Отходы, которые размещаются на свалке, начинают выделять метан уже через несколько месяцев после их размещения. В первый год выделение метана обычно достигает пика, так как начинается биологическое разложение органических материалов в условиях отсутствия кислорода. В дальнейшем скорость выделения метана снижается, но метан продолжает выделяться многие годы, иногда и десятилетия после закрытия свалки. По результатам натурного исследования было обнаружено наличие метана в отходах первого года размещения в объемной доле от 0 до 61%, углерода диоксида в объемной доле от 0 до 11,88%. Согласно европейским климатическим нормам [\[12-15\]](#), такое выделение метана считается значимым и способно оказать влияние на парниковый эффект. Таким образом данные полигоны ТКО можно рассматривать как значительный источник выбросов парниковых газов.

#### 4. Выводы.

Как показали результаты объемно-плотностных исследований и газохимического обследования в нижних слоях залегания твердых коммунальных отходов плотность значительно выше, чем в более поздних по времени размещения слоях, количество выделяемого свалочного газа не значительно. В тоже время в верхних слоях в массе отходов на глубинах залегания, соответствующих первому году размещения отходов, происходит активное метанообразование.

Действующая методика расчета выбросов от полигонов ТКО не рассматривает особенности метанообразования на разных стадиях жизненного цикла полигона. Эмиссии от разложения отходов за последние два года размещения не учитываются в расчетах выбросов, что создает предпосылки для корректировки методики по результатам инструментальных измерений.

В целом можно утверждать, что уточнение информации о выбросах свалочного газа на полигонах ТКО на основе инструментальных измерений позволит получать более достоверные результаты при расчете выбросов и определении возможных углеродных единиц при внедрении НДТ. Точный расчет выбросов свалочного газа и их утилизация полностью отвечает цели охраны окружающей среды и рационального природопользования в Арктической зоне.

#### Библиография

1. Росприроднадзор. Аналитические данные. Статистическая отчетность: информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления // Росприроднадзор. [Электронный ресурс] URL: <https://rosprirodnadzor.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения 2023-10-19).
2. EAA. Waste recycling in Europe. [Электронный ресурс]. □ Режим доступа : <https://www.eea.europa.eu/ims/waste-recycling-in-europe> (дата обращения: 08.04.2023).
3. McQuibban, Jack. Cities Programme Coordinator at Zero Waste Europe The state of zero waste municipalities report. 2021. [Электронный ресурс]. □ Режим доступа : [https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR\\_2021-Final.pdf](https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf) (дата обращения: 07.04.2023).
4. Laurieri N. et al. A Door-to-Door Waste Collection System Case Study : A Survey on its Sustainability and Effectiveness // Sustainability. 2020. [Электронный ресурс]. □ Режим доступа : <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5520> (дата обращения: 07.04.2023).
5. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. / М.: АКХ им. Памфилова, 2004.
6. Травин И., Шмелев А.Л. RDF-топливо. Зарубежный опыт и перспективы использования в России. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: [https://7greenline.ru/novosti/news\\_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivyispolzovaniya-v-rossii](https://7greenline.ru/novosti/news_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivyispolzovaniya-v-rossii) (дата обращения: 06.04.2023).
7. Валинеева А. А., Степанова Т. А. RDF как альтернативный источник энергии // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». № 3. 2020. [Электронный ресурс]. □ Режим доступа :

- ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377 (дата обращения: 06.04.2023)
8. Calabrò P.S., Komilis D. A standardized inspection methodology to evaluate municipal solid waste collection performance. // J. Environ. Manag. 2019. #246. 184–191.
  9. Xue B., Chen X.P., Geng Y., Guo X.J., Lu C.P., Zhang Z.L., Lu C.Y. Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level. // Resour. Conserv. Recycl. 2010. №54. 1296–1302.
  10. Seyring N., Dollhofer M., Weißenbacher J., Herczeg M., David M. Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU. // Waste Manag. Res. 2015. №34. 947–956.
  11. Yadav V., Karmakar S. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. // Sustain. Cities Soc. 2020, №53. 101937.
  12. Rodrigues S., Martinho G., Pires A. Waste collection systems. Part A: A taxonomy. // J. Clean. Prod. 2016. №113. 374–387.
  13. Yaman C. Investigation of greenhouse gas emissions and energy recovery potential from municipal solid waste management practices. // Environ. Dev. 2020. №33. 100484.
  14. Das S., Bhattacharyya B.K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. // Waste Manag. 2015. №43. 9–18.
  15. Stoeva K., Alriksson S. Influence of recycling programmes on waste separation behaviour. // Waste Manag. 2017. №68. 732–741.
  16. Casazza M., Huisingh D., Ulgiati S., Severino V., Liu G., Lega M. Product service system-based municipal solid waste circular management platform in campania region (Italy): A preliminary analysis. // Procedia CIRP. 2019. №83. 224–229.
  17. Paes M.X., de Medeiros G.A., Mancini S.D., Bortoleto A.P., Puppim de Oliveira J.A., Kulay L.A. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. // J. Clean. Prod. 2020. №254. 119848.
  18. Геоспайдер. Уникальная спутниковая сеть дифференциальных геодезических станций «Геоспайдер» [Электронный ресурс] URL: <http://geospider.ru/> (дата обращения 2023-10-19).
  19. Берг-проект. Отчет о выполненных работах по определению объемно-плотностных характеристик полигона твердых бытовых и строительных отходов в д. / М. Замостье Гатчинского района Ленинградской области. СПб.: ООО «Берг-проект». 2022.
  20. ТехноТерра. 109-23-ЭИ. Отчет по результатам экологических исследований. / СПб.: ООО «ТехноТерра». 2023

## Результаты процедуры 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, особенности изучения и исследование процессов метанообразования при размещении отходов на полигонах ТКО на северных территориях.

Методология исследования исходя из анализа статьи можно сделать вывод о использовании несколько методик: на 1 этапе исследований методом RTK (Real Time Kinematic), который заключается в спутниковом позиционировании с высокой степенью точности, в режиме статических определений и перемещений от точки к точке в течение

одного сеанса исследования с подключением к сети «Геоспайдер», была выполнена топографическая съемка рельефа и контура тела полигона с сечением рельефа горизонталями через один метр; на 2 этапе для исследования объемно-плотностных характеристик полигона ТКО было выполнено бурение шурфов для отбора проб; на 3 этапе для исследования состава свалочного газа в поверхностных слоях отработанных карт полигона было выполнено газогеохимическое обследование территории методом поверхностной шпуровой съемки отработанных карт полигона с установкой точек наблюдения и отбор проб воздуха из шпуров и измерение объемной доли компонентов свалочного газа –  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ . Измерения проводились при метеорологических условиях, соответствующих рабочим параметрам средств измерений.

Актуальность затронутой темы мониторинге безусловна, учет метана и других выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в составе свалочного газа, является Арктическая зона - одной из зон в Российской Федерации, для которых несмотря на низкую плотность населения потребность в высокоэффективных объектах по обращению с ТКО здесь достаточно актуальна. При этом климатические особенности региона, геоэкологические особенности строения полигонов ТКО, технологии, применяемые при размещении ТКО с учетом наилучших доступных технологий в совокупности должны учитываться при расчете образования и нормировании выбросов.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований получены результаты объемно-плотностных исследований и газохимического обследования в нижних слоях залегания твердых коммунальных отходов плотность значительно выше, чем в более поздних по времени размещения слоях, количество выделяемого свалочного газа не значительно, одновременно в верхних слоях в массе отходов на глубинах залегания, соответствующих первому году размещения отходов, происходит активное метанообразование.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный.

Однако есть ряд пожеланий, в частности, автору статьи следовало бы, по нашему мнению, необходимо в названии статьи аббревиатуры, в частности ТКО - твердые коммунальные отходы. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим процесс определения эффективности методов выделения газов. Таблицы и фотографии иллюстративны. Автор статьи верно отмечает то, что необходимо уточнение информации о выбросах свалочного газа на полигонах ТКО на основе инструментальных измерений позволит получать более достоверные результаты при расчете выбросов и определении возможных углеродных единиц при внедрении наилучших доступных технологий.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, содержит ссылки на нормативно-правовые акты.

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.

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Землянскова А.А., Нестерова Н.В., Макарьева О.М. Изменение ледового режима рек Северо-Востока России // Арктика и Антарктика. 2024. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.69791 EDN: DZOYRH URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=69791](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69791)

## Изменение ледового режима рек Северо-Востока России

**Землянскова Анастасия Александровна**

ORCID: 0000-0002-2249-5708

лаборант, Северо-Восточный государственный университет; младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет

685017, Россия, Магаданская область, г. Магадан, ул. Портовая, 13

✉ [anastasiazemlanskova@gmail.com](mailto:anastasiazemlanskova@gmail.com)



**Нестерова Наталья Вадимовна**

ORCID: 0000-0003-0677-4982

кандидат технических наук

старший преподаватель кафедры Гидрологии суши Института Наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет; младший научный сотрудник, Государственный гидрологический институт

199034, Россия, Ленинградская область, г. Санкт-Петербург, наб. Университетская, 7-9

✉ [nnesterova1994@gmail.com](mailto:nnesterova1994@gmail.com)



**Макарьева Ольга Михайловна**

ORCID: 0000-0002-2532-4306

кандидат технических наук

заведующий лабораторией, Северо-Восточный государственный университет; ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет

685000, Россия, Магаданская область, г. Магадан, ул. Портовая, 13

✉ [omakarieva@yandex.ru](mailto:omakarieva@yandex.ru)



---

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

**DOI:**

10.7256/2453-8922.2024.1.69791

**EDN:**

DZOYRH

**Дата направления статьи в редакцию:**

08-02-2024

**Дата публикации:**

15-02-2024

**Аннотация:** В экономическом развитии арктических регионов важную роль играет транспортное сообщение и обеспечение труднодоступных населенных пунктов и горнодобывающих предприятий. Зимой в качестве транспортных артерий используются зимники, режим их функционирования зависит от характеристик льда. Зимники оборудуют в России, Канаде, США, Финляндии, Китае. В связи с потеплением климата сроки формирования ледового покрова на реках сдвигаются на более поздние, а весной лед разрушается раньше. Это может сказаться на доставке жизненно важных грузов в отдаленные регионы. По последним прогнозам, предполагается, что тяжелые транспортные средства к концу XXI века не смогут пользоваться данным видом дорог. Цель исследования – анализ изменений характеристик речного ледового покрова рек Северо-Востока. Для этого был собран ряд данных за период 1940–2018 гг. о толщине ледяного покрова по 80 гидрологическим постам, расположенным в бассейнах рек Яна, Индигирка, Колыма, рек Чукотского полуострова и бассейна Охотского моря. Продолжительность непрерывного ряда составила от 2 до 67 лет. Для оценки использовались три статистических непараметрических критерия (Манна-Кендалла, Петтитта и Тейл-Сена). Рассматривались следующие характеристики: максимальная толщина льда и дата его образования, даты достижения толщины льда 60 и 90 см. За рассматриваемый период максимальная толщина льда сократилась в среднем на 40 см, при этом дата достижения максимальных значений остается практически неизменной. Срок формирования речного льда толщиной 60 и 90 см, необходимой для прохождения легкового и грузового транспорта, соответственно, сместился почти месяц. Дата начала ледостава наступает в среднем на 3–4 дня позже, а дата окончания ледостава раньше на 5–8 дней. В среднем продолжительность ледостава сократилась на 5–15 дней. Полученные результаты необходимо учитывать при составлении графика работы автозимников. Это особенно важно для регионов, где сообщение между населенными пунктами и горнодобывающими предприятиями возможно только по речным артериям.

**Ключевые слова:**

толщина речного льда, Северо-Восток России, ледовый режим рек, зимники, изменения климата, наледи, ледовые явления, арктические регионы, криолитозона, сокращение льда

*Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда и правительства Магаданской области № 23-17-20011.*

**Введение**

В экономическом развитии Арктических регионов важную роль играет транспортное сообщение. В зимнее время в качестве транспортных артерий используется речная сеть. На Северо-Востоке России в бассейнах рек Яна, Индигирка и Колыма, рек Чукотского полуострова и бассейна Охотского моря прокладывают зимники. Зимник — автомобильная дорога, эксплуатация которой возможна только в зимнее время при отрицательной температуре воздуха. Ледовая переправа прокладывается по льду рек, озер, водохранилищ или морей только после тщательной проверки толщины ледяного



покрова. Зимние дороги функционируют ежегодно в таких странах, как Канада, Китай, США, Россия, Финляндия, Норвегия и Швеция. Для оборудования зимника необходимо знать расчетные нагрузки для разного вида транспортных средств. Строительными нормами установлено, что для проезда по зимнику колесных автомобилей весом 15 и 100 тонн необходим лед толщиной 60 и 195 см, соответственно. В связи с потеплением климата наблюдаются изменения в ледовом режиме рек. Изменяются сроки образования ледового покрова, а также его характеристики. Происходит сокращение сроков эксплуатации зимников. В работе [1] отмечается, что на территории Канады для самых тяжелых транспортных средств проезд по зимникам будет невозможен к концу XXI века.

На территории Северо-Востока России зимники прокладываются по рекам Колыма и Анадырь в конце октября — начале декабря, на реках бассейна Охотского моря — в начале сентября — середине декабря и действуют до конца апреля — начала мая [2]. Зимники проложены также по рекам бассейнов рр. Яна и Индигирка. В Республике Саха (Якутия) протяженность автозимников составляет более 9 тысяч км, они обеспечивают сообщение между центром и улусами, используются для доставки жизнеобеспечивающих товаров. Значительным препятствием для нормального функционирования зимников являются наледи и полыньи.

Ледовый режим рек имеет важное значение для бассейнов северных рек, их экосистем и экономического развития арктической промышленности и транспорта [3, 4]. Формирование ледового режима определяется целым рядом факторов, среди которых водность, тип питания реки, теплообмен водной массы с атмосферой, батиметрия и строение русла [5].

В данный момент в мире широко обсуждается будущее влияние потепления климата на изменения ледового режима рек [3, 4]. По оценкам службы Росгидромет1), на сибирских реках к 2039 г. ожидается сокращение периода ледостава на 20—27 дней и уменьшение максимальной толщины льда на 20—40%. По мнению Shiklomanov and Lammers [6] в настоящее время необходимы более точные исследования при использовании детальных данных наблюдений на реках меньшего размера.

В мировой практике для исследования ледового режима рек широко используются спутниковые наблюдения [7]. В работе прогнозируется уменьшение сезонной продолжительности ледового покрова в среднем на 6 дней на 1° повышения средней глобальной приземной температуры воздуха. Использование спутниковых данных MODIS позволили идентифицировать пространственные и временные закономерности изменения ледового покрова в бассейнах рек Макензи, Лена, Обь и Енисей за период 2000–2014 гг. [8]. Все статистически значимые временные тенденции отрицательны, что также указывает на общий сдвиг в сторону уменьшения продолжительности ледостава.

На территории исследовательского водосбора р. Танана (Аляска), установлено, что таяние льда усиливается за счет увеличения гидравлического градиента, увеличения подъема грунтовых вод, повышения температуры воздуха, повышения температуры грунтовых вод и увеличения высоты снежного покрова [9]. Ожидается, что потепление климата в регионах с прерывистой многолетней мерзлотой увеличит поступление грунтовых вод в реки, уменьшит температурный градиент между атмосферой и поверхностью раздела лед-вода и увеличит толщину снежного покрова.

Целью исследования является анализ изменений характеристик ледового режима рек

Северо-Востока России (1940–2018 гг.) на основе разработанной базы данных.

### Объект исследования

Территория Северо-Востока России включает бассейны рек Яна, Индигирка, Колыма, бассейны рек Чукотского полуострова и Охотского моря (рис. 1). Рельеф местности сложный и разнообразный. Он представлен высокогорьями, которые плавно сменяются низкогорьями, внутренними впадинами и др. [\[2, 10\]](#).

Климат внутренних районов Северо-Востока суровый, резко континентальный, при приближении к морским побережьям становится мягче. Средняя годовая температура воздуха на станции Оймякон (726 м) составляет -15,7<sup>°</sup>С, а в — Магадане (118 м) -2,8<sup>°</sup>С. Наиболее холодным является январь -46,4<sup>°</sup>С (Оймякон), ближе к морю температура повышается до -16,4<sup>°</sup>С (Магадан). Самый теплый месяц — июль. Средняя многолетняя температура июля по станции Оймякон составляет +14,9<sup>°</sup>С, в Магадане +11,8<sup>°</sup>С. Холодный период продолжается с октября по апрель, а теплый — с мая по сентябрь.

Режим выпадения осадков на территории неоднородный, он находится под воздействием циклонической активности. Выделяют холодный (октябрь—апрель, май) и теплый (май, июнь—сентябрь) периоды выпадения твердых и жидких осадков соответственно. Годовая сумма осадков достигает 600 мм на берегах Охотского и Берингова морей (688 мм, м/с Сунтар-Хаята, 2068 м; 561 мм, м/с Магадан), а в низовье р. Колыма меньше 200 мм. На большей части территории годовая сумма осадков находится в пределах 300 мм. Оценка количества осадков затруднена, так как большинство метеостанций находится в долинах рек на небольших высотах, отсутствует информация о количестве осадков в горах, на высоте более 1500 м. В летний период, преимущественно в июле, наблюдается максимум выпадения осадков.

Образование снежного покрова в некоторых районах начинается уже в сентябре. Максимальная высота отмечается в марте-апреле, по всей территории она практически не превышает 100 см, в среднем составляет 30—50 см. Во второй половине мая устойчивый снежный покров разрушается. Число дней со снежным покровом составляет 210—240 суток. Максимальный запас воды в снежном покрове колеблется от 50 до 200 мм [\[2, 10\]](#).

Многолетняя мерзлота — важный компонент природной системы Северо-Востока России, только на побережье Охотского моря она прерывистая, ее мощность не превышает 0,2—0,3 м, здесь встречаются острова талых пород. Талики также встречаются в бассейне р. Колыма. На этой территории и на водоразделах Чукотского нагорья мощность многолетней мерзлоты составляет 300—400 м. Мощность многолетнемерзлых пород в высокогорных районах бассейнов рек Яна и Индигирка может достигать более 450 м, в долинах рек до 180 м. Мощность деятельного слоя составляет 0,3—2 м [\[11\]](#).

Речная сеть Северо-Востока имеет сложный рисунок. Многолетняя мерзлота в горных районах способствовала образованию многорукавности. Горные реки характеризуются каменистыми руслами, изобилующими порогами. На равнинных территориях долины рек очень широкие, сложены аллювием, им свойственно свободное меандрирование. Реки характеризуются режимом с весенним половодьем, сильными летними и осенними дождевыми паводками. Зимняя маловодность на всех реках продолжительна (6—8 месяцев), многие малые и средние реки промерзают до дна. На территории Северо-Востока России широко распространены наледи, общая площадь которых, по современным оценкам, составляет 4529 км<sup>2</sup>, а объем — 10,6 км<sup>3</sup>. Средняя наледность

бассейнов рек, в котором ведутся наблюдения за стоком, колеблется от 0,2 до 1,4%. Максимальна она в частных водосборах р. Индигирки [12].

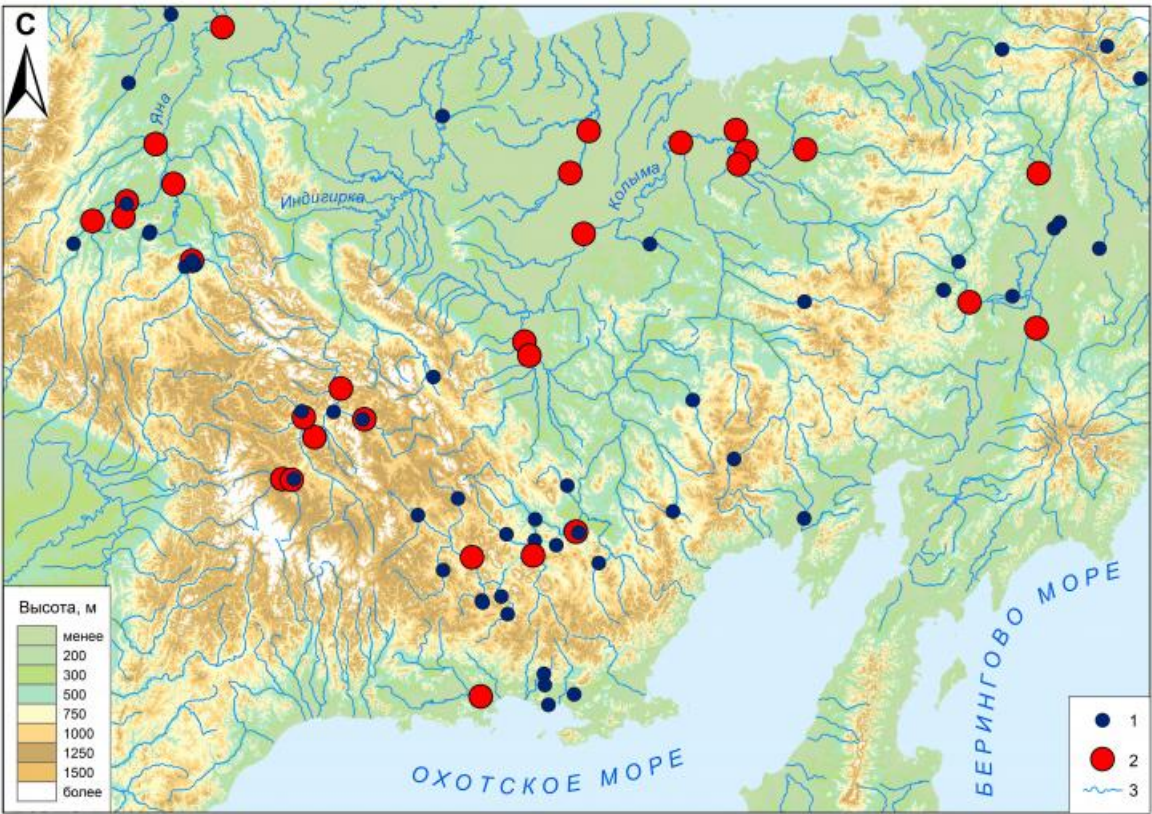


Рис. 1. База данных о толщине льда на реках Северо-Востока России.

1 — гидрологические посты, которые занесены в базу данных; 2 — гидрологические посты, по данным которых был проведен анализ; 3 — реки.

Материалы и методы

Для оценки изменений был собран ряд данных за период 1940–2018 гг. о толщине ледяного покрова по 80 гидрологическим постам, расположенных в бассейнах рек Яна, Индигирка, Колыма, рек Чукотского полуострова и бассейна Охотского моря. Площади водосборов составляют от 18,3 до 635 000 км<sup>2</sup>, а продолжительность непрерывного ряда — от 2 до 67 лет (рис. 2, таблица 1).

Таблица 1. Период наблюдений на гидрологических постах, выбранных для анализа ледового покрова рек Северо-Востока России.

| ID    | Река – название поста         | S      | Y    | N  | G                          |
|-------|-------------------------------|--------|------|----|----------------------------|
| 01001 | р. Колыма - с. Оротук         | 42600  | 1957 | 61 | -                          |
| 01010 | р. Колыма - п. Усть-Среднекан | 99400  | 1957 | 61 | 2001                       |
| 01018 | р. Колыма - пос. Зырянка      | 287000 | 1957 | 61 | 1964                       |
| 01176 | р. Бохапча - в 5.4км от устья | 13600  | 1957 | 61 | 2003, 2008–2009            |
| 01397 | р. Малый Анюй - с. Островное  | 30000  | 1957 | 61 | 1958, 1976–1977, 1999–2001 |
| 01398 | р. Малый Анюй - с. Анюйск     | 121000 | 1957 | 61 | -                          |
| 01407 | р. ... ..                     |        |      |    | 1997. 2004–                |

|       |   |        |      |    |   |
|-------|---|--------|------|----|---|
| 01497 | р. Анадырь - пос. Новый Еропол                            | 47300  | 1957 | 61 | 2013  |
| 01504 | р. Майн - с. Ваеги  | 18600  | 1957 | 61 | -   |
| 01508 | р. Энмываам (Эньмувеем) –<br>ГМС Эньмувеем (с.Мухоморное) | 11400  | 1957 | 61 | 1967  |
| 01566 | р. Тауй - с. Талон  | 25100  | 1957 | 61 | -   |
| 01578 | р. Ясачная - с. Нелемное                                  | 32000  | 1972 | 46 | -   |
| 01596 | р. Большой Анюй - ГМС<br>Константиновская                 | 49600  | 1978 | 40 | -   |
| 01801 | р. Колыма - г. Среднеколымск                              | 361000 | 1957 | 61 | 1964  |
| 01802 | р. Колыма - Колымское                                     | 413000 | 1965 | 53 | -   |
| 01805 | р. Колыма - р.п. Черский                                  | 635000 | 1940 | 78 | 1960–1965,<br>1996–2002                     |
| 03414 | р. Яна-Верхоянск  | 45300  | 1951 | 67 | -   |
| 03424 | р. Сартанг - Бала   | 16700  | 1951 | 67 | -   |
| 03430 | р. Дулгалах - Томтор                                      | 23900  | 1951 | 67 | -   |
| 03443 | р. Адыча - Усть-Чаркы                                     | 52800  | 1956 | 62 | 1959  |
| 03445 | р. Адыча - Юрдук-Кумах                                    | 89600  | 1951 | 67 | -   |
| 03483 | р. Бытантай - Асар  | 40000  | 1951 | 67 | -   |
| 03488 | р. Индигирка - Юрты                                       | 51100  | 1956 | 62 | -   |
| 03489 | р. Индигирка - Индигирский                                | 83500  | 1958 | 60 | -   |
| 03499 | р. Сунтар - устье р. Сахарынья                            | 7680   | 1955 | 63 | 1963, 1965,<br>1968,<br>1971, 1973–<br>1976 |
| 03503 | р. Агаякан - ГМС Агаякан                                  | 7630   | 1952 | 66 | -   |
| 03507 | р. Эльги - 5.0 км выше устья р.<br>Артык-Юрях             | 17600  | 1951 | 67 | 1972, 1973,<br>1980                         |
| 03518 | р. Нера - пос. Ала-Чубук                                  | 22300  | 1961 | 57 | 1973, 1975                                  |
| 03861 | р. Яна - п.ст. Юбилейная<br>(Казачье)                     | 224000 | 1951 | 67 | -   |
| 03881 | р. Алазея - г. Аргахта                                    | 17700  | 1961 | 57 | 1965, 1972                                  |
| 03882 | р. Алазея - с. Андрюшкино                                 | 29000  | 1961 | 57 | 1965, 1967,<br>1995–2004                    |

\*ID — номер поста; S — площадь водосбора, км<sup>2</sup>; Y — год начала наблюдений; N — период наблюдений (до 2018 г. включительно); G — годы, в которые наблюдения не проводились.

Информация 1936–2008 годов была оцифрована по данным «Государственного водного кадастра» [13–15], 2008–2018 годов получена на сайте АИС ГМВО<sup>2)</sup>.

Для оценки изменений толщины льда на реках Северо-Востока по разработанной базе данных [16] использовались три статистических непараметрических критерия (Манна-Кендалла, Петтитта и Тейл-Сена). На различных по площади водосборах в данной работе были отобраны репрезентативные ряды. Выбраны следующие критерии репрезентативности: 1) длина анализируемого ряда более 20 лет; 2) разница в количестве значений до 1980 и после 1980 не превышает 50%; 3) наличие данных в



современный период (после 2000 г.). Всего для территории Северо-Востока России проанализированы данные 30 гидрологических постов по следующим характеристикам: максимальная толщина льда, дата формирования максимальной толщины, а также изменение даты формирования толщины льда 60 и 90 см. Данные величины обусловлены строительными нормами для проезда колесных автомобилей массой 15 и 35 тонн соответственно при кратковременной оттепели (температура воздуха 0 и выше)<sup>3</sup>.

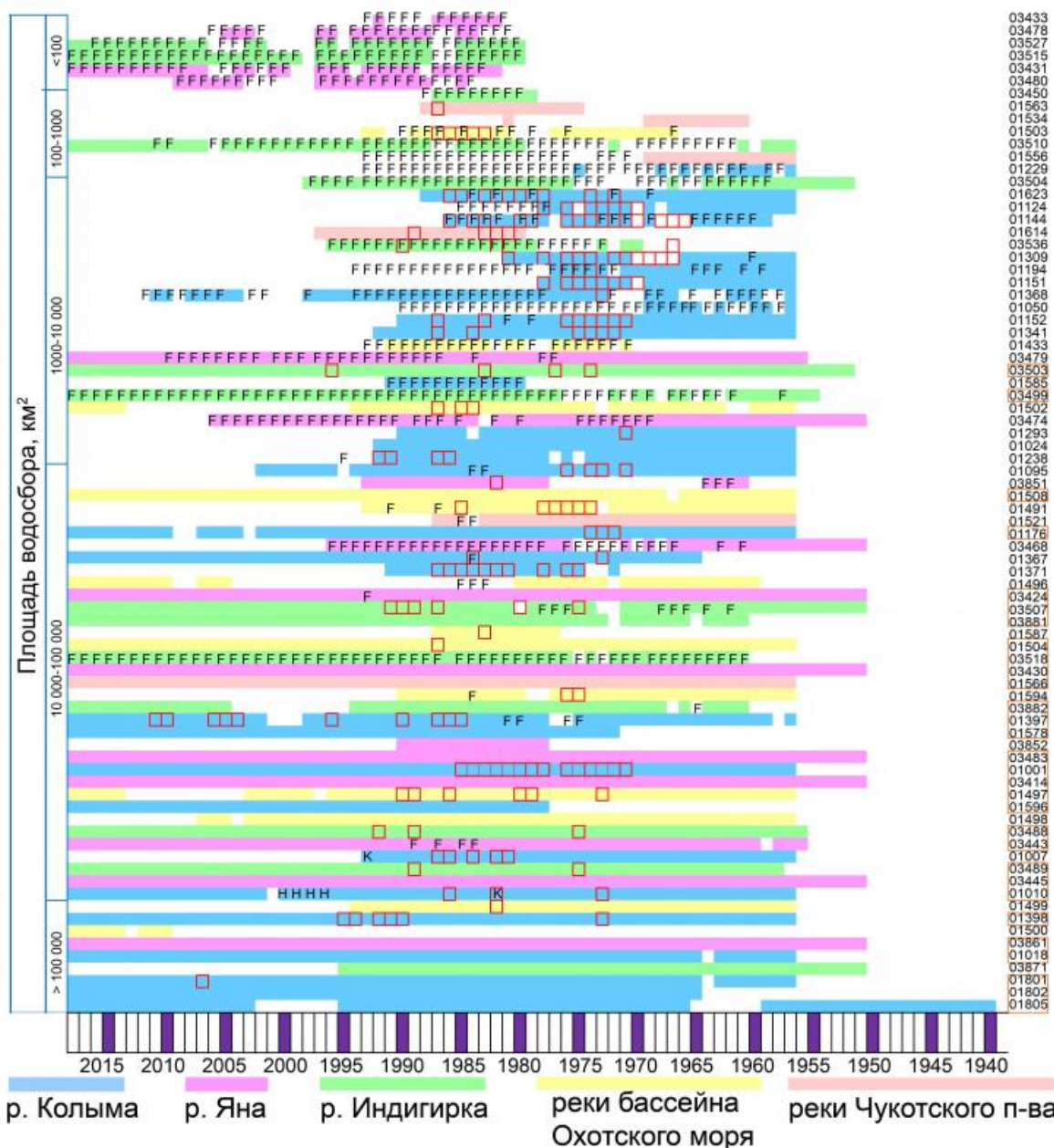


Рис. 2. Наличие данных о ледовом режиме малых, средних и крупных рек Северо-Востока России.

Примечание: оранжевый прямоугольник — анализируемый ряд (см. таблица. 2); F — река промерзла до дна; красный квадрат — выход наледных вод на поверхность речного льда; H — на толщину льда оказывает влияние строительство Усть-Среднеканской ГЭС; K — на толщину льда оказывает влияние сброса воды из Колымского водохранилища.

### Результаты исследования

По результатам анализа данных 30 гидрологических постов было установлено, что максимальная толщина льда на реках Северо-Востока сократилась, в среднем она стала

меньше на 25,5 см. Наибольшие изменения наблюдаются на посту 01001 (находится выше водохранилища). За период 1957–2018 гг. максимальная толщина льда на этом участке уменьшилась на 108 см. Также, выявлены случаи, когда толщина льда в современный период больше. Например, на посту 03483 за период 1951–2018 гг. она увеличилась на 59 см или на 36%.

Средняя дата формирования максимальной толщины льда не изменилась, однако на некоторых постах наблюдаются значительные отклонения, например, на постах 01504 и 01566 в сторону позднего и раннего образования на 40 дней соответственно (таблица 2).

Анализ дат формирования толщины льда 60 см показал, что на 9 из 30 постов дата достижения этой величины не изменилась, а в среднем по всем анализируемым постам сместилась на 23 дня, максимально на 37 дней. На посту 01504 наоборот отмечается ранее образование льда такой толщины (на 12 дней раньше). Аналогичная картина выявлена для толщины льда 90 см. На 7 постах дата образования льда толщиной 90 см не изменилась, среднее отклонение по всем постам составляет 33 дня. Максимально позднее формирование льда 90 см отмечается на посту 01578 (63 дня позже от средней даты образования).

На 13 постах отмечается статистически значимый тренд в сторону позднего образования льда толщиной 60 см, такой же тренд для толщины льда 90 см (9 постов). Тренд на уменьшение максимальной толщины льда прослеживается на 9 постах. Анализ также показывает, что на этих постах с сокращением максимальных размеров толщины льда увеличивается время формирования толщины льда, пригодной для проезда автотранспорта. Более раннее становление льда толщиной 90 см наблюдается на 3 постах (на 14, 23 на 49 дней), что также может быть связано с образованием наледей, которые являются важным фактором, осложняющим функционирование зимних ледовых трасс. Толщина льда 145 и 195 см на реках образуется не каждый год, в связи с чем анализ ряда невозможен. Отмечено, что чем больше толщина льда, тем больше выражено смещение дат.

Таблица 2. Изменение характеристик ледового покрова рек с длительным рядом наблюдений до 2018 г.

| Номер поста | Изменение максимальной толщины льда, см | Изменение максимальной толщины льда, % | Отклонение от средней даты достижения максимума, пентады | Срок достижения 60 см льда | Срок достижения 90 см льда |
|-------------|---|--|--|----------------------------|----------------------------|
| 01001       | <b>-108</b>                             | <b>-53</b>                             | 0  | <b>16</b>                  | <b>17</b>                  |
| 01010       | <u>16</u>                               | <u>14</u>                              | 0  | <b>27</b>                  | <u>-14</u>                 |
| 01018       | 7.1                                     | 7.4                                    | 0  | 0                          | 0                          |
| 01176       | -15                                     | -14                                    | 0  | <b>29</b>                  | 0                          |
| 01397       | -12                                     | -8.3                                   | 0  | <b>39</b>                  | <b>29</b>                  |
| 01398       | <b>-18</b>                              | <b>-18</b>                             | 0  | <b>27</b>                  | 19                         |
| 01497       | 18                                      | 14                                     | <u>3</u>   | <b>21</b>                  | 0                          |
| 01504       | <u>55</u>                               | <u>59</u>                              | <u>9</u>   | -12                        | 19                         |
| 01508       | <b>-24</b>                              | <b>-30</b>                             | -5   | 16                         | <b>59</b>                  |
| 01566       | <b>-34</b>                              | <b>-35</b>                             | <b>-8</b>  | 0                          | -17                        |
| 01578       | <b>-16</b>                              | <b>-14</b>                             | <u>4</u>   | <b>30</b>                  | <b>64</b>                  |
| 01596       | -3.5                                    | -4.0                                   | -2   | <b>32</b>                  | 45                         |

|       |            |            |           |           |            |
|-------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 01801 | <b>-31</b> | <b>-29</b> | 0         | <b>38</b> | <b>40</b>  |
| 01802 | <b>-26</b> | <b>-19</b> | -2        | <b>19</b> | <b>24</b>  |
| 01805 | <b>-30</b> | <b>-21</b> | 0         | <b>24</b> | <b>33</b>  |
| 03414 | <b>-22</b> | <b>-16</b> | 0         | <b>12</b> | <b>36</b>  |
| 03424 | <b>-22</b> | <b>-16</b> | 0         | <b>28</b> | <b>28</b>  |
| 03430 | <u>26</u>  | <u>16</u>  | 0         | 0         | 0          |
| 03443 | <u>35</u>  | <u>23</u>  | 0         | 0         | <u>-23</u> |
| 03445 | -25        | -11        | 0         | 0         | 0          |
| 03483 | <u>59</u>  | <u>36</u>  | 0         | 0         | <u>-49</u> |
| 03488 | -24        | -11        | 0         | 0         | 0          |
| 03489 | <b>-98</b> | <b>-52</b> | <b>-2</b> | <b>16</b> | <b>37</b>  |
| 03499 | -7.3       | -8.0       | 0         | 0         | 0          |
| 03503 | <u>98</u>  | <u>39</u>  | <u>3</u>  | 0         | -13        |
| 03507 | -13        | -8.8       | 4         | <b>21</b> | 9          |
| 03518 | <u>111</u> | <u>90</u>  | <u>17</u> | 0         | <b>17</b>  |
| 03861 | <b>-38</b> | <b>-25</b> | 0         | <b>19</b> | <b>32</b>  |
| 03881 | -5.3       | -5.0       | 0         | 0         | 0          |
| 03882 | -21        | -16        | 0         | 0         | 6          |

*\*Ячейки, заполненные серым цветом, соответствуют статистически значимым трендам при  $p < 0,10$ ; при  $p < 0,05$  — жирным шрифтом; при  $0,05 < p < 0,10$  — курсивом; подчеркнутый — положительный тренд для максимальной толщины льда и отрицательный для количества дней достижения 90 см*

На 12 из 30 исследуемых постах наблюдается значимое сокращение максимальной толщины ледового покрова при уровне значимости  $p < 0,10$ . В среднем уменьшение составляет 38,9 см (27%) и изменяется от 16 см (14%) (р. Ясачная — с. Нелемное, бассейн р. Колымы) до 108 см (53%) (р. Колыма — с. Оротук). Уменьшение максимальной толщины льда не сопровождается сдвигом даты наступления этого максимума (таблица 2). Только на двух постах (03489, р. Индигирка — Индигирский) и 01566 (р. Тай — с. Талон) происходит сдвиг даты на 10 и 40 дней соответственно.

На 7 постах наблюдается увеличение толщины ледового покрова со средним значением 57 см (40%). Максимальное увеличение зафиксировано в бассейне р. Нера — пос. Ала-Чубук (03518) и достигает 113 см или 90%. Положительное отклонение от средней даты достижения максимальной толщины наблюдается на 4 рассматриваемых постах. В целом, увеличение ледового покрова происходит в бассейнах рр. Яна и Индигирка. В то же время, для всех постов в указанных бассейнах наблюдаются более низкие величины толщины льда в периоды 1964–1967 и 2007 гг., что в целом совпадает с годами резкого увеличения стока [17].

Важную роль в формировании ледового покрова играют наледи, образующиеся в створах постов. Так максимальные изменения в максимальной толщине льда наблюдаются именно на постах, на которых наблюдаются наледные явления, причем для таких постов свойственны как уменьшение льда (например, пост 03489, р. Индигирка — Индигирский), так и увеличение (пост 03503, р. Агаякан — ГМС Агаякан). В бассейне р. Колыма — с. Оротук (01001) изменение в толщине ледового покрова зависит от антропогенного фактора, т.к. данные искажены в связи со строительством Усть-Среднеканской ГЭС.

## Обсуждение



В основном исследования изменений максимальной толщины ледового покрова, сроков осеннего становления льда и его весеннего разрушения проводятся на крупных реках. Для северных районов наблюдаются разнонаправленные тенденции изменений ледового режима [18], которые могут варьироваться как в зависимости от региона, так и в пределах речных систем [8]. Но в целом они указывают на значимое смягчение ледового режима, причем изменения максимальной толщины льда за последний 30-летний период происходят более интенсивно по сравнению с изменениями продолжительности ледостава [19]. Так для рек Арктической территории России уменьшение толщины ледового покрова составило в основном 10—20% [19].

В работе [6] констатируются статистически значимые негативные тренды максимальной толщины льда на реках Сибири. На реках Колыма и Яна отмечены отрицательные тренды максимальной толщины льда (13 и 33 см соответственно) и уменьшение длительности ледостава в среднем на 8 дней.

Для территории Республики Саха (Якутия) на отдельных реках, таких как Лена, Чара, Учур, изменение характеристик ледового режима существенно, а на других (Тимптон, Нюкжа) проявляется пока достаточно слабо [20]. В среднем продолжительность ледостава уменьшается на 5—15 дней. Дата начала ледостава наступает в среднем на 3—4 дня позже, а дата окончания ледостава раньше на 5—8 дней. Интересно, что для территории Якутии средние значения максимального уровня воды в начале ледостава возросли на 51—83 см, что, по мнению авторов [20], связано с увеличением продолжительности шугохода и объема шуги в условиях более поздних дат начала образования ледового покрова.

Для рек бассейна Верхнего Енисея даты установления сплошного ледостава сдвинулись на более поздние сроки в среднем на 10 дней, а процесс разрушения ледяного покрова начинается на 10—18 дней раньше. Причем выявлено статистически значимое сокращение общей продолжительности ледостава на реках со средней высотой бассейна менее 1500 м. Основные причины этих изменений, по мнению автора [5], общее увеличение водности осенней и зимней межени, с которым связан рост теплозапаса водной массы, а также уменьшение толщины ледового покрова в результате снижения отрицательных зимних температур воздуха.

Для Забайкалья дата окончания ледостава в среднем сдвинулась на более ранний срок на 3 дня. Смещение дат на более поздние сроки на 1—10 дней произошло в 21% створов. Не изменились даты только в 4% створов. За 50-летний период максимальная толщина льда на большинстве реках уменьшилась (в четверти створов ее уменьшение составило более 30 см) [21].

Для территории рек арктической зоны Западной Сибири по данным 40 гидрологических постов (1936–2014 гг.) расчеты показали отсутствие статистически значимых изменений в ледовом режиме [22].

Изменение дат замерзания рек и величины максимальной толщины льда сильнее зависит от температуры воздуха, чем от водности рек [18, 21]. В работе [23] указывают на то, что сход ледового покрова значительно зависит от температуры воздуха, в то время как процессы замерзания льда осенью имеют более сложную природу и показывают ограниченную корреляцию с метеорологическими условиями. В. В. Паромов и Л. Н.

Шантыкова [5] утверждают, что наблюдаемый сдвиг дат появления сплошного ледостава зависит в основном от динамического фактора.

В работах [24, 25] представлена гипотеза о воздействии речного льда на меженный сток. Так в более холодные зимы, при значительной толщине льда, расход воды в небольших речных бассейнах уменьшается, а в менее суровые зимы происходит уменьшение толщины речного льда и сохранение более высокого стока. В то же время Shiklomanov and Lammers [6] не подтвердили данную теорию и не обнаружили существенной корреляции между максимальной толщиной речного льда и средним стоком рек в ноябре-апреле.

Таким образом, результаты исследования динамики толщины льда на реках Северо-Востока согласуются с общей тенденцией изменения природной среды во всем мире.

### **Заключение**

Проведен анализ динамики толщины льда на реках Северо-Востока страны на основе разработанной базы данных за период 1940–2018 гг. За последние пятьдесят лет произошло значимое смещение дат формирования толщины льда, для 60 см — в среднем на 24 дня (12–36 дней) на 13 из 30 гидрологических постов, для 90 см — на 38 дней (17–64 дней) на 9 постах. Более раннее становление льда 90 см наблюдается на 2 постах (на 14 и на 49 дней), что также связано с образованием наледей, которые являются фактором, осложняющим функционирование зимних ледовых трасс.

Освоение новых территорий и транспортировка полезных ископаемых реализуется благодаря зимним дорогам. К тому же затраты на создание зимних дорог может быть в разы ниже, чем поддержание постоянной всесезонной транспортной артерии. Сокращение сроков функционирования зимников может повлечь за собой значительный экономический ущерб.

По результатам проведенной работы на реках Северо-Востока России дата начала использования естественных транспортных артерий может сдвинуться на месяц и более. Необходимо учитывать этот фактор при составлении графика работы автозимников и применять методы искусственного намораживания толщины льда на реках для увеличения сроков их использования. Это особенно важно для регионов, где сообщение между населенными пунктами и горнодобывающими предприятиями возможно только по речным артериям.

Ссылки на нормативные документы:

- 1) Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2. — Росгидромет, М., 2008. URL: <http://climate2008.igce.ru>
- 2) <https://gmvo.skniivh.ru>
- 3) ВСН-137-89

### **Библиография**

1. Mullan D., Swindles G., Patterson T., Galloway J., Macumber A., Falck H., Crossley L., Chen J., Pisaric M. Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road // Theoretical and Applied Climatology. 2017. Vol. 129. Pp. 1089–1108.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеиздат. 1969. 282 с.
3. *Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Barry R.G., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinsky V.S.* Historical trends in lake and river cover in the Northern Hemisphere // *Science*. 2000. Vol. 289. Pp.1743–1746.
4. *Beltaos S., Prowse T.* River ice hydrology in a shrinking cryosphere // *Hydrological Processes: An International Journal*. 2009. Vol. 23, no 1. Pp. 122–144.
5. *Паромов В.В., Шантыкова Л.Н.* Изменение характеристик ледового режима рек бассейна Верхнего Енисея // *Лед и снег*. 2010. № 2. С. 102–106.
6. *Shiklomanov A., Lammers R.* River ice responses to a warming Arctic-Recent evidence from Russian rivers // *Environmental Research Letters*. 2014. Pp. 9. 10.1088/1748-9326/9/3/035008.
7. *Yang X., Pavelsky T., Allen G.* The past and future of global river ice // *Nature*. 2020. Vol. 577. Pp. 69-73. 10.1038/s41586-019-1848-1.
8. *Cooley S.W., Pavelsky T.M.* Spatial and temporal patterns in Arctic River ice breakup revealed by automated ice detection from MODIS imagery // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 175, Pp. 310–322. doi: 10.1016/j.rse.2016.01.004
9. *Jones Ch., Kielland K., Hinzman L.* Modeling groundwater upwelling as a control on river ice thickness // *Conference: 19th International Northern Research Basins Symposium and Workshop At: Southcentral Alaska, USA*. 2013. Pp. 107-115.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Индигирский район. Л.: Гидрометеиздат. 1972. 651 с.
11. *Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / ред. Э.Д. Ершов. М.: Недра, 1989. 515 с.*
12. *Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России / В.Р. Алексеев, О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, Н.В. Нестерова, А.А. Осташов, А.А. Землянскова; ред. В.В. Шепелев, М.Н. Железняк. Новосибирск: СО РАН. 2021. 302 с. ISBN 978-5-6046428-2-5*
13. *Гидрологический ежегодник. Том 8. Вып. 0-7. Бассейн морей Лаптевых и Восточно-Сибирского до р. Колымы (1936-1980) // Якутское управление гидрометеорологической службы, г. Якутск.*
14. *Гидрологический ежегодник. Том 8. Выпуск 8. Том 9. Выпуск 7. В-Сибирское, Чукотское, Берингово, Тихий океан (1957-1980) // Колымское управление гидрометеорологической службы, г. Магадан.*
15. *Государственный водный кадастр Российской Федерации. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество, Выпуски 16–17 Ежегодное издание. 1981–2007 гг.*
16. *Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Землянскова А.А.* Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2021620268 (от 12.02.2021) «Толщина льда и высота снега на малых, средних и больших реках Северо-Востока (бассейны рек Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, бассейны рек Охотского моря и Чукотского п-ва) 1940-2018 гг.».
17. *Makarieva O., Nesterova N., Post D., Sherstyukov A., Lebedeva L.* Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // *The Cryosphere*. 2019. Vol. 13. Pp. 1635–1659.
18. *Гинзбург Б.М.* Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные изменения в XXI веке // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 12. С. 88-97.

19. Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2014. №3. С. 32-45.
20. Лобанов В.А., Горошкова Н.И. Характеристики ледового режима рек Республики Саха (Якутия) и их климатические изменения // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. № 55. С. 86-98.
21. Обязов В.А., Смахтин В.К. Влияние изменений климата на речной сток в зимний период в Забайкалье // Метеорология и гидрология. 2013. №7. С. 95-102.
22. Агафонова С.А. Ледовый режим рек арктической зоны Западной Сибири в современных климатических условиях // Арктика и Антарктика. 2017. № 2. С. 25-33. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.2.22649
23. Newton A.M.W., Mullan D. Climate change and Northern Hemisphere Lake and river ice phenology from 1931-2005 // The Cryosphere. 2021. Vol. 15. Pp. 2211-2234. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2211-2021>
24. Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метеорология и гидрология. 2009. №9. С. 92-99.
25. Джамалов Р.Г., Потехина Е.В. Природно-климатические и антропогенные причины изменения подземного стока бассейна Лены // Георазрез. 2010. № 1. С. 1-25

## Результаты процедуры 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, прогноз развития гидрологических процессов и изменение ледового режима рек Северо-Востока России в в связи с изменениями погодно-климатических условий в современный период.

Методология исследования, в статье указаны что автором был собран ряд данных для составления базы данных за 58 лет по 80 гидрологическим постам бассейна рек полигона исследования, информация за 62 года была оцифрована по данным «Государственного водного кадастра», а за период 2008–2018 годов получена на сайте АИС ГМВО2), а также анализ карты, литературных данных и фондовых материалов. Из анализа статьи можно сделать вывод о использовании методов статистического анализа, в частности для оценки изменений толщины льда на реках по разработанной базе данных использовались три статистических непараметрических критерия (Манна-Кендалла, Петтитта и Тейл-Сена).

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении информации об экономическом развитии Арктических регионов и роли транспортное сообщение в зимнее время в качестве транспортных артерий используется речная сеть. На Северо-Востоке России в бассейнах рек прокладывают зимники - автомобильная дорога, эксплуатация которой возможна только в зимнее время при отрицательной температуре воздуха. Ледовая переправа прокладывается по льду рек, озер, водохранилищ или морей только после тщательной проверки толщины ледяного покрова. В этой связи исследование авторов по динамике формирования ледяного покрова и возможности его использования в современных условиях изменения погодных климатических условий является весьма актуальной.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований констатирована динамика изменения за последние пятьдесят лет как

значимое смещение дат формирования толщины льда, для 60 см — в среднем на 24 дня (12—36 дней) на 13 из 30 гидрологических постов, для 90 см — на 38 дней (17—64 дней) на 9 постах. Более раннее становление льда связано с образованием наледей, которые являются фактором, осложняющим функционирование зимних ледовых трасс.. Это является важным дополнением в развитии геокриологии и имеет важное практическое значение.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена иллюстративным материалом, отражающим процесс статистического моделирования. Статья иллюстрирована визуализированными картой, таблицами и рисунком.

Однако есть ряд пожеланий, в частности:

Автору статьи следовало бы более подробно остановиться на анализе взаимосвязи изменения среднемесячных температур за теплый и холодный периоды года, при этом учитывая, что повышение температур сказывается на гляциальных процессах.

Интересный аргументированные табличные данные можно было бы визуализировать в форме диаграмм и логика структурных схем.

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

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:

Васильчук Ю.К., Гинзбург А.П., Токарев И.В., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Паламарчук В.А., Блудушкина Л.Б., Слышкина Е.С. Морфология наледи Булуус, Улахан-Тарын, условия ее залегания и распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в нижней части // Арктика и Антарктика. 2024. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.70079 EDN: ICABMG URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=70079](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=70079)

## Морфология наледи Булуус, Улахан-Тарын, условия ее залегания и распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в нижней части

**Васильчук Юрий Кириллович**

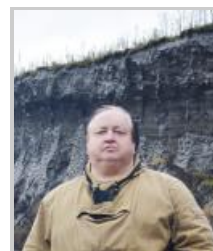
ORCID: 0000-0001-5847-5568

доктор геолого-минералогических наук

профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв

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

✉ [vasilch\\_geo@mail.ru](mailto:vasilch_geo@mail.ru)



**Гинзбург Александр Павлович**

младший научный сотрудник, Научный центр изучения Арктики; аспирант, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

629007, Россия, г. Салехард, ул. Республики, 20

✉ [alexandrginzburg13154@yandex.ru](mailto:alexandrginzburg13154@yandex.ru)



**Токарев Игорь Владимирович**

кандидат геолого-минералогических наук

Ведущий специалист, Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета

199034, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Университетская, 7

✉ [tokarevigor@gmail.com](mailto:tokarevigor@gmail.com)



**Буданцева Надежда Аркадьевна**

ORCID: 0000-0003-4292-5709

кандидат географических наук

Старший научный сотрудник, Кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Moscow, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2007

✉ [nadin.budanceva@mail.ru](mailto:nadin.budanceva@mail.ru)



**Васильчук Алла Константиновна**

ORCID: 0000-0003-1921-030X

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория геоэкологии Севера

119991, Россия, г. Moscow, ул. Leninsky Gory, 1, оф. Ж10

✉ [alla-vasilch@yandex.ru](mailto:alla-vasilch@yandex.ru)



**Паламарчук Валентина Анатольевна**

Младший научный сотрудник, Научный центр изучения Арктики и Институт криосферы Земли СО РАН

629007, Россия, г. Салехард, ул. Республики, 20

✉ VAPalamarchuk@yanao.ru

**Блудушкина Любовь Бахтияровна**

младший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, лаборатория геоэкологии Севера

119991, Россия, г. Город, ул. Ленинские Горы, 1, оф. ж10

✉ bludushkina19@mail.ru

**Слышкина Елена Сергеевна**

младший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, лаборатория геоэкологии Севера

119991, Россия, г. Город, ул. Ленинские Горы, 1, оф. ж10

✉ lena.slyshkina@gmail.com



---

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

**DOI:**

10.7256/2453-8922.2024.1.70079

**EDN:**

ICABMG

**Дата направления статьи в редакцию:**

07-03-2024

**Аннотация:** Наледи являются одним из наиболее опасных природных явлений. Отрицательное воздействие наледей определяется неожиданным затоплением территории и последующим замерзанием воды, формированием ледяных преград, обледенением подземных сооружений и коммуникаций (шахт, штолен, туннелей, водопропускных и канализационных колодцев), а также обледенением автомобильных и железных дорог, береговых гидротехнических сооружений и др. Известны случаи, когда взрывы наледных бугров пучения производили в течение нескольких секунд катастрофические нарушения. Наледь, ежегодно формирующаяся в долине ручья Булуус – одна из наиболее известных и детально изучавшихся наледей Центральной Якутии. Наледный лёд, был отобран из вертикального разреза. Лёд слоистый, мощность слоёв составляет 3–10 см, в верхней части наледи слои льда более мощные, чем в нижней. Отбор образцов льда из наледных толщ было выполнено при помощи стальной коронки



диаметром 5,1 см, приводимой в движение электрической дрелью Bosch. Измерения изотопного состава кислорода и водорода льда выполнены на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L 2130-i. Изотопный состав наледи Булуус заметно варьирует: значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-20,2$  до  $-21,9\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-159,5$  до  $-173,7\text{‰}$ . Наледный лед в целом изотопически немного более "тяжёлый" по сравнению с поверхностными водами ручья Улахан-Тарын, значения  $\delta^{18}\text{O}$  составляют  $-22,18\text{‰}$ , а величина  $\delta^2\text{H}$  –  $-175,1\text{‰}$ . Грунтовые воды изотопически близки к водам ручья они также изотопически более "легкие" по сравнению с наледным льдом, в них значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-22,17$  до  $-22,25\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-173,7$  до  $-175,1\text{‰}$ .

#### **Ключевые слова:**

наледь, многолетнемерзлые породы, изотопы кислорода, изотопы водорода, Булуус, Улахан-Тарын, река Лена, криогенные почвы, средняя тайга, Центральная Якутия

*Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (грант № 23-17-00082 - полевые исследования). Изотопные измерения выполнены в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в рамках программы ГЗ №АААА-А19-119091190094-6, при финансовой поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа (ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард)*

#### **Введение**

Наледи являются одним из наиболее опасных природных явлений. Отрицательное воздействие наледей определяется неожиданным затоплением территории и последующим замерзанием воды, формированием ледяных преград, обледенением подземных сооружений и коммуникаций (шахт, штолен, туннелей, водопропускных и канализационных колодцев), а также обледенением автомобильных и железных дорог, береговых гидротехнических сооружений и др. Известны случаи, когда взрывы наледных бугров пучения производили в течение нескольких секунд катастрофические нарушения.<sup>[1]</sup> В. Г. Петров<sup>[24]</sup> в марте 1928 г. наблюдал на р. Онон в Амурской области взрыв наледного бугра пучения, во время которого была выброшена глыба льда с грунтом длиной до 19 м, шириной 5 м, толщиной 2 м, массой до 200 т. И. И. Пузанов в 1936 г. на р. Джилинде зафиксировал взрыв, после которого глыбы льдов массой до 50 т были унесены потоком воды на несколько километров. В. Ф. Дершгольц в 1971 г. описал взрыв речной наледи на р. Зее, во время которого погиб караван лошадей вместе с сопровождающими его людьми. 28 марта 1927 г. во время взрыва наледного бугра в долине р. Онон общий объем льдогрунтовой массы, выброшенной взрывом, составил 508 м<sup>3</sup>. Самая большая глыба льда с прослоями песка, гравия и галечника имела толщину 2 м, ширину 6–9 и длину 18 м<sup>[8]</sup>.

Х.Крайтс с соавторами<sup>[36]</sup> исследовали наледи канадской криолитозоны на северо-западе Канады (на территории площадью 618 430 км<sup>2</sup>) на основе 573 снимков Landsat (1985–2017 гг.) определили с использованием гидрометрических данных вклад зимнего базового стока в общий годовой сток 17 рек в исследуемом регионе. Нанесенные на карту 1402 наледи встречаются преимущественно в предгорьях сильно нарушенных карстовых горных районов в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых

пород. Зимний базовый сток и его вклад в годовой расход были ниже в водосборах сплошного распространения многолетнемерзлых пород, чем в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород, но в целом увеличились за период 1970–2016 гг. Распределение наледей, по-видимому, чувствительно к зимним температурам воздуха и условиям зимнего базового стока, а наледи, расположенные на южной границе сплошного распространения многолетнемерзлых пород, более чувствительны к деградации многолетнемерзлых пород и прогнозируемому увеличению зимнего базового стока.

Наледи в бассейне Цо Морири Восточном Ладакхе в Индии были откартированы Д.Бромбирштойдль с коллегами [32] с использованием свободно доступных данных Landsat и Sentinel-2. Всего выявлено 27 наледных полей средней площадью 9 км<sup>2</sup>. Хотя возникновение наледей сильно изменчивы в сезонном и межгодовом масштабе, но наледные тела из года в год образуются в одном и том же месте.

Источником воды для льда наледей могут быть помимо вод реки и грунтовых вод, воды близлежащих ледников. А.МакДональд с соавторами [42] показали, что значительное изменение изотопного состава в реке питающейся из быстро отступающего выводного ледника Виркисйокудль в Исландии фиксируются дважды в год: в летний период (значения  $\delta^{18}\text{O} = -11,2\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -78\text{‰}$ ) и зимой-ранней весной (величина  $\delta^{18}\text{O} = -10,7\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -74,9\text{‰}$ ). Такая закономерность наблюдается и индивидуально для обоих участков мониторинга в реке и указывает на то, что зимний сток частично поддерживается местными грунтовыми водами, хранящимися в моренах.

А.Чеснокова с соавторами [34] исследовала изотопный состав наледей в верховьях долины реки Дьюк в горах Сент-Элиас, Юкон. Результаты исследований показали, что путем изучения гидрологических объектов, которые остаются активными зимой, можно определить гидрологические источники образования наледей и установить вклад различных источников в изучаемые наледи. Как и ожидалось, наледи, образующиеся рядом с окончанием главного ледника, питаются талой водой ледников. Однако даже в окрестностях ледника, очень заметно участие источников воды, не связанных с ледниками, таких как водных притоков на склонах холмов, питаемых грунтовыми водами, погребенных ледниковых образований, и моренных озер. Ниже главных ледников вклад грунтовых и мелких ледниковых притоков более выражен и становится основным источником образования наледей на альпийско-луговой части водораздела. Некоторые склоновые притоки в пределах альпийского луга, по-видимому, питаются водой надмерзлотного слоя. [34]

На изображениях полученные с помощью замедленной камеры А.Чеснокова с соавторами [34] наблюдали наледи в верховьях долины реки Дьюк в горах Сент-Элиас на Юконе, что ледник способствует формированию наледи. Основываясь на этом выводе, они использовали изотопные соотношения второй наледи и ледника на ко-изотопной диаграмме соотношения  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ . Из-за криогенного фракционирования образцы наледей и образцы исходного источника могут иметь разные изотопные характеристики и потенциально располагаться дальше друг от друга на ко-изотопной диаграмме соотношения  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ ; эта методология помогла исключить потенциальные ложные результаты. Например, образец из моренного озера нельзя исключить как потенциальный материнский источник Icing PF, поскольку он находится в пределах указанного диапазона, а образец западной морены с ледяным керном располагается

дальше от образца наледи, поэтому его вклад невелик. [34] Изотопный состав наледей в верховьях долины реки Дьук в горах Сент-Элиас на Юконе [34] таков: у первой наледи значения  $\delta^{18}\text{O} \approx -24,2\text{‰}$ , величина  $\delta^2\text{H} \approx -184\text{‰}$ ; у второй наледи значения  $\delta^{18}\text{O} \approx -23,6\text{‰}$ , величина  $\delta^2\text{H} \approx -182\text{‰}$ , при этом вода из скважины продемонстрировала значения  $\delta^{18}\text{O} \approx -22,7\text{‰}$ , величина  $\delta^2\text{H} \approx -175\text{‰}$ , следовательно в составе наледи участвовала вода снега и талая вода ледника.

Береговые гидротехнические сооружения (причалы, эстакады, пирсы и др.) часто разрушаются под воздействием статического давления наледного льда. [1,2,3]

Интерес к изучению наледей вырос в последние годы, [32,34,36,38,40,43,44] так как наледи служат индикаторами водообменных процессов территории занятой многолетнемерзлыми породами и могут играть важную роль при оценке состояния криосферы в условиях меняющегося климата.

Авторами изучен изотопный состав наледи Улахан-Тарын, с целью исследования условий ее формирования.

### Физико-географические условия района исследования

#### Географическое положение района исследований

Местом проведения полевых работ был участок, расположенный в районе южной границы Бестяхской террасы на правом берегу р. Лены (рис. 1,а). В рамках территории выделяются два ключевых участка: ручей Улахан-Тарын ( $61^\circ 34' 49.86''$  с.ш.,  $129^\circ 32' 7.64''$  в.д.) и наледь Булуус ( $61^\circ 20' 17.47''$  с.ш.,  $129^\circ 4' 22.13''$  в.д.) (рис. 1,б,в, 2). Участки сосредоточены вдоль автомобильной дороги федерального значения А-360 «Лена», соединяющей г. Сковородино (Невер) Амурской области и г. Якутск.



Рис. 1. Ключевые участки исследования на территории Центральной Якутии: а) примерные границы Бестяхской террасы р. Лены (по [18]); б) долина ручья Улахан-Тарын; в) наледь Булуус; 1 – границы Бестяхской террасы; 2 – Федеральная автодорога А-360 «Лена»; 3 – ключевые участки исследования

#### Рельеф

Бестяхская терраса – IV надпойменная терраса р. Лены, она имеет относительные высоты 56–78 м над средним уровнем воды в реке и занимает большую часть запада Лено-Алданского междуречья (рис. 1,а). Терраса сложена преимущественно аллювиальными песчаными отложениями (мощность 60–70 м), с мощными прослоями щебней и галек (мощность 1–3 м).<sup>[18]</sup> Считается, что в качестве самостоятельного геоморфологического элемента территории Бестяхская терраса выделилась в позднем плейстоцене – голоцене, значительную роль в её обособлении сыграл комплекс перигляциальных процессов, в особенности гляциоизостатических поднятий.<sup>[28]</sup> Генезис террасы спорный.<sup>[25]</sup> Современный рельеф поверхности террасы – возвышенно-равнинный, сильно расчленённый глубокими врезами, имеющими термоэрозионное и суффозионное и термосуффозионное происхождение.<sup>[22,25]</sup> Деятельность подземных вод во многом определяет формирование здесь характерного термосуффозионного рельефа в виде полузамкнутых цирков, верхние бровки которых возвышаются над днищами ручьёв на 20–30 м, а угол откоса их склонов составляет около 30°. <sup>[12]</sup> В настоящий момент зафиксировано затухание термосуффозионных процессов,<sup>[12]</sup> которое сопровождается постепенным зарастанием песчаных надпойменных террас рек в бассейне Лены и её крупных притоков. <sup>[12,23]</sup>

#### *Многолетнемёрзлые породы*

Многолетнемёрзлые породы в Центральной Якутии имеют сплошное распространение, характеризуются высокой мощностью, средней льдистостью и в целом относительно стабильным состоянием.<sup>[20]</sup> Средние температуры многолетнемёрзлых пород на глубине нулевых сезонных колебаний составляют около –4 – –3°C. Песчаные массивы и участки возвышенных надпойменных террас, сложенных песками, при этом характеризуются специфическим тепловым режимом, который отличается весьма высокими температурами – до –0,2°C. Мощность криолитозоны здесь составляет примерно 200 м, в некоторых местах возрастая практически вдвое.<sup>[5,22]</sup> Строение толщ ММП на Бестяхской террасе двухслойное, два мёрзлых горизонта разделяются межмерзлотным таликом.<sup>[9]</sup> Мощность деятельного слоя на песчаных водоразделах достигает 3,5 м, в низинах, сложенных более тяжёлыми отложениями, где так же присутствуют мощные торфяники, она снижается до 1–1,5 м.<sup>[20]</sup>

#### *Климатические характеристики*

Территория характеризуется резко-континентальным климатом. Характерны длительная холодная и малоснежная зима, короткое и очень жаркое лето. Среднегодовая температура воздуха в с. Покровск (50 км к югу от г. Якутска) – ближайший к месту исследований крупный населённый пункт, – составляет –9,6°C. Самый тёплый месяц года – июль, в течение которого в среднем за 90 лет метеонаблюдений (1933–2023 гг.) составила 18,4°C, самый холодный – январь, среднемноголетняя температура которого равна –39,8°C. В течение всего срока метеонаблюдений выделяются две основных особенности: среднегодовая температура воздуха варьировала в пределах от –8,0 до –12,0°C в период с 1933 по 1990 гг., а начиная с 1990 г. наблюдался рост среднегодовой температуры воздуха, а также значительное уменьшение её годовых амплитуд.

Среднее количество выпадающих в течение года атмосферных осадков невелико, оно типично для резко-континентального климата и составляет 200–300 мм/год. В начале периода систематических метеонаблюдений в аномальные годы выпадало осадков в год до 600–800 мм и более, однако на протяжении последних практически 70 лет среднее

количество осадков, выпадающих на этой территории равно 292 мм/год (рис. 2).

По агроклиматическому районированию Лено-Алданское междуречье относится к наиболее теплообеспеченным районам Якутии, в которых годовые суммы среднесуточных активных температур ( $10,0^{\circ}\text{C}$  и выше) превышают  $1200^{\circ}\text{C}$ , а безморозный период года длится более 90 дней. В результате этого исследуемый район – одно из немногих мест на территории Якутии вообще, где возможно ведение пахотного земледелия.<sup>[6]</sup>

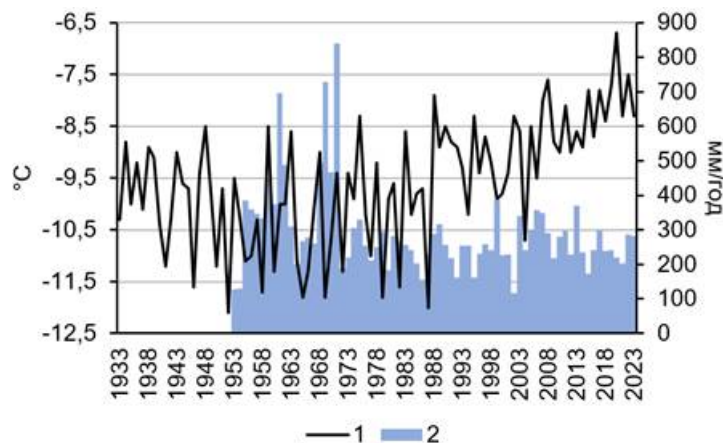


Рис. 2. Климатические характеристики в с. Покровск в период с 1933 по 2023 гг. (по данным метеостанции Покровск, Якутия<sup>[19]</sup> – систематические измерения уровня выпавших атмосферных осадков проводятся только с 1951 г.). 1 – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ; 2 – уровень атмосферных осадков, мм/год

#### *Гидрологические и гидрохимические характеристики и ледовые явления на реках*

Лена – крупнейшая река Якутии, а также всей Восточной Сибири, и одна из самых крупных рек России. Длина её основного русла более 4 600 км. Исток Лены расположен в небольшом болоте на плато Солнцепадъ в Восточном Прибайкалье, устье – на побережье Северного Ледовитого океана, где река образовала обширную дельту – также одну из крупнейших среди рек России и мира (площадью около 60 000 км<sup>2</sup>).<sup>[33]</sup> Годовой сток Лены, по разным оценкам, составляет от 489 до 542 км<sup>3</sup>, что соответствует среднегодовым расходам от 15 500 до 17 175 м<sup>3</sup>/с.<sup>[26]</sup> Повсеместное развитие стабильных ММП в долине р. Лены осложняет её питание подземными водами, однако в дельте Лены в последние годы этот компонент питания в структуре речного стока занимает всё большие и большие доли.<sup>[33]</sup>

В зимний период Лена покрывается льдом в направлении с севера на юг, достигается значительная мощность льда (около 5 м и более). Стабильный ледостав характерен в период с середины ноября по вторую половину мая. Весенний ледоход сопровождается частыми мощными заторами льда и сопутствующим затоплением прибрежных территорий.<sup>[11,17]</sup>

Между точками впадения в Лену крупных притоков – Олёкмы (2 089 км от устья) и Алдана (1 311 км от устья) крупные притоки отсутствуют, в основном в неё впадают мелкие реки и ручьи. Многочисленные выходы подземных вод в тыловых швах склонов надпойменных террас и разгрузка их в русла ручьёв приводит к образованию многочисленных наледей.<sup>[7]</sup> Наледь, ежегодно формирующаяся в долине ручья Булуус – одна из наиболее известных и детально изучавшихся наледей Центральной Якутии<sup>[4,13,21,31]</sup> (рис. 3,4). Кроме того, она является популярным у туристов природным



явлением. После установления стабильных положительных температур воздуха наледь тает ещё относительно долгое время. Так, в июне-июле площадь поверхности наледи составляет около 0,3–0,4 км<sup>2</sup>, а остаток наледи может сохраняться практически в период до начала августа (рис. 3, а-г). В начале летнего сезона мощность наледи на ручье Булуус достигает 3–5 м, а в середине июля существенно уменьшается – и составляет уже 1–1,5 м.

Наледь Булуус отнесена к одному из семи чудес Якутии. Общая площадь наледи составляет 1105 га. Уникальный источник подземных вод образует здесь наледи чистой пресной воды, которые не тают даже в самые жаркие дни. На льду температура воздуха не поднимается выше +4–6°C. Лед представляется совершенной фантастикой жарким летним днём среди зелёной травы и высоких хвойных деревьев. Летом в леднике образуются многочисленные расщелины и пещеры. Зимой даже в суровые морозы на поверхности видны выходы талой воды.

Бывает, что к осени наледь Булуус тает полностью, а в 2020 г. Булуус полностью растаял совсем рано — в конце июля, в 2022 г. Булуус растаял в конце августа. По наблюдениям Л.А. Гагарина [12-14] долина, где находится Булуус, относительно узкая. За зиму здесь формируется наледь с большой толщиной и маленькой площадью. И того количества тепла, которое летом приходится на эту поверхность, недостаточно, чтобы быстро растопить такой объем льда. Если бы Булуус был пошире и потоньше, он бы таял раньше, т.е. как долго здесь будет таять лед, зависит от его толщины и площади. Чем толще и меньше по площади, тем он дольше продержится. И, соответственно, чем лед тоньше и шире, тем он быстрее будет таять.

А какой толщины и площади будет эта наледь, зависит от трех факторов — высоты снежного покрова, температуры зимой и количества осадков, выпавших предыдущим летом-осенью. Если снега мало и зима холодная, вода из природного источника быстро замерзает, не успев растечься по поверхности. А если снега много и зима относительно теплая, вода долго перемещается вниз по руслу, перед тем как замерзнуть. Площадь льда увеличивается, но при этом его толщина совсем небольшая. При этом наледь тает быстрее.

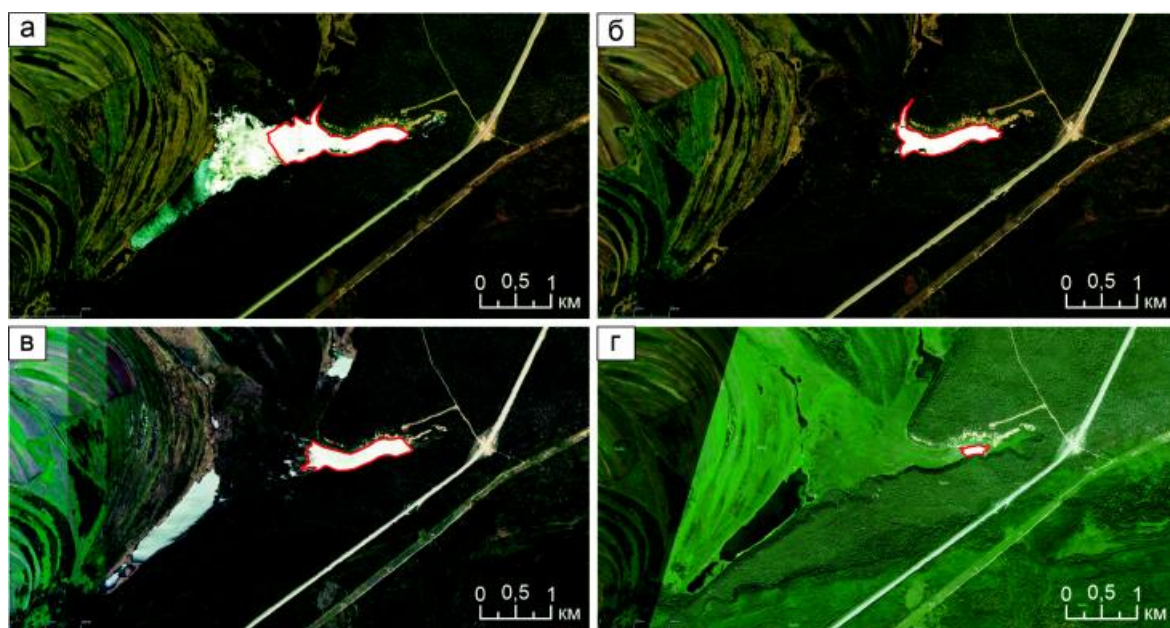


Рис. 3. Границы наледи Булуус на разновременных космических снимках: а) в конце мая 2022 г; б) в середине июня 2022 г; в) в начале июля 2022 г; г) в начале августа 2022 г;

1 – границы площади наледи



Рис. 4. Внешний вид долины ручья Булуус, поверхность наледи и окружающий среднетаёжный ландшафт в начале июля 2023 г. (фото А.П. Гинзбурга)

*Почвенный покров территории*

Район работ расположен в среднетаёжной ландшафтной подзоне, поэтому доминирующим типом почв на Лено-Алданском междуречье считаются мерзлотно-таёжные палевые, в т.ч. осолоделые в комплексах с аласных почв.<sup>[6,30]</sup> Непосредственно на западной части Бестяхской террасы на карте из этого атласа выделяется ареал мерзлотных подзолистых почв и борových песков. Согласно А.П. Чевычелову<sup>[29]</sup> территория Центральной Якутии характеризуется сложным почвенным покровом, в который включено 9 зональных, 2 аazonальных и 7 интразональных типов почв (табл. 1). Такое разнообразие почв обеспечено большому количеству разнообразных почвообразовательных макропроцессов, которые также протекают на фоне криогенеза различной степени, что характерно в целом для Якутии как на талых, так и на многолетнемёрзлых подстилающих породах.<sup>[35]</sup>

**Таблица 1.** Систематический список типов криогенных почв Центральной Якутии (по А.П.Чевычелову<sup>[29]</sup>)

| Зональные              | Азональные                 | Интразональные                  |
|------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Подзолы             | 1. Дерново-карбонатные     | 1 . Аллювиальные слоистые       |
| 2. Солоди              | 2 . Перегнойно-карбонатные | 2 . Аллювиальные серогумусовые  |
| 3. Палево-бурые        |                            | 3 . Аллювиальные темногумусовые |
| 4. Палевые             |                            | 4. Болотные низинные            |
| 5. Чернозёмы           |                            | 5. Сапропели                    |
| 6 . Лугово-чернозёмные |                            | 6. Солончаки                    |
| 7 . Чернозёмно-луговые |                            | 7. Солонцы                      |
| 8. Дерново-луговые     |                            |                                 |



|                    |  |  |
|--------------------|--|--|
| 9. Лугово-болотные |  |  |
|--------------------|--|--|

Особенностью почвенного покрова водоразделов Центральной Якутии являются значительные площади, занятые аласными экосистемами,<sup>[27]</sup> в пределах которых ведутся основные сельскохозяйственные мероприятия.<sup>[16]</sup> В аласных котловинах наблюдаются гидро- и галоморфные комплексы почв, почвенный покров аласов представлен солодами, лугово-чернозёмными и чернозёмно-луговыми, лугово-болотными почвами.<sup>[15]</sup> Аласные экосистемы, а также окружающие их водоразделы с мерзлотно-таёжными почвами и соответствующей лесной растительностью, активно деградируют в связи с климатическими изменениями и образованием глубоких термокарстовых провалов в едомных отложениях.

### **Объекты и методы**

#### ***Изученные наледи***

Наледный лёд, изученный на ключевом участке в долине ручья Булуус, был отобран из вертикального обнажения, вскрытого в результате естественного бокового оттаивания наледного льда (рис. 5,6). Проведённая зачистка обнажения показала, что наледный лёд имеет следующие характерные особенности: лёд слоистый, чередуются слои прозрачного слегка голубоватого и зеленоватого на просвет плотного льда с небольшим количеством визуально выделяющихся пузырьков воздуха со белыми практически не прозрачными более ломкими слоями, содержащими большое количество пузырьков воздуха и слабо связанных ледяных зёрен. Мощность слоёв составляет 3–10 см, в верхней части наледи слои более мощные, чем в нижней (см. рис. 6). Примерно на глубине 65 см от поверхности лёд слегка загрязнён крупным и средним палево-жёлтым песчаным материалом. Поверхность наледи также содержит мелкий и средний песок, появление которого на ней, вполне возможно, объясняется эоловым переносом минеральных частиц с окружающих долину ручья Булуус незадернованных склонов террас (см. рис. 5). В остальном, визуально выраженного загрязнения льда частицами грунта или иными веществами не выявлено.



Рис. 5. Основное русло ручья Булуус и образовавшаяся в теле наледи промоина в начале июля 2023 г. (фото В.А. Паламарчук)



Рис. 6. Вертикальное обнажение наледного льда на ручье Булуус (фото В.А. Паламарчук)

#### ***Полевой отбор образцов наледного льда***

Отбор образцов льда из наледных толщ было выполнено при помощи стальной коронки диаметром 5,1 см, приводимой в движение электрической дрелью Bosch. Образец льда высверливался из вертикальной стенки наледной толщи, причём верхние 1,5-2 см каждого керна снимались во избежание попадания в образец натёчного льда, изотопный состав которого был изменён в результате длительного контакта с атмосферным воздухом. Масса каждого образца льда составляла 100-150 г. После оттаивания при

комнатной температуре в течении суток талая вода переливалась в пластиковые флаконы объёмом 10 мл. Флаконы предварительно два раза промывались пробой воды, а воздухообмен с атмосферой исключался путём герметизации крышки флакона эластичной плёнкой Parafilm. Также при заливании пробы воды предотвращалось попадание пузырьков воздуха во флакон. Всего из наледи было отобрано 7 образца льда.

Таблица 2. Отбор образцов из толщи наледи, Булуус, Улахан-Тарын, Центральная Якутия, июль 2023 г.

| №  | Полевой номер | Глубина, см | Тип пробы          |
|----|---------------|-------------|--------------------|
| 1  | Ultar-23-1/1  | 0           | Поверхностные воды |
| 2  | Ultar-23-4/1  | 0           | Грунтовые воды     |
| 3  | Ultar-23-5/1  | 0-10        | Наледь             |
| 4  | Ultar-23-5/2  | 10-20       | Наледь             |
| 5  | Ultar-23-5/3  | 20-30       | Наледь             |
| 6  | Ultar-23-5/4  | 30-40       | Наледь             |
| 7  | Ultar-23-5/5  | 40-50       | Наледь             |
| 8  | Ultar-23-5/6  | 50-60       | Наледь             |
| 9  | Ultar-23-5/7  | 60-70       | Наледь             |
| 10 | Ultar-23-6/1  | 0           | Грунтовые воды     |

### Лабораторные изотопные исследования наледного льда

Измерения изотопного состава кислорода и водорода льда выполнены на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L 2130-i в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета. Использованы следующие международные стандарты: V-SMOW-2, GISP, SLAP, USGS-45 и USGS-46. Погрешность определений составила: для  $\delta^{18}\text{O}$  –  $\pm 0,02$  ‰, для  $\delta^2\text{H}$  –  $\pm 0,3$  ‰. Значения дейтериевого эксцесса ( $d_{\text{ex}}$ ) были рассчитаны по формуле В.Дансгора<sup>[37]</sup>:  $d_{\text{ex}} = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$ .

### Результаты

**Изотопный состав наледного льда.** Изотопный состав наледных льдов наледи Булуус мало варьирует: значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-20,2$  до  $-21,9$ ‰, величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-159,5$  до  $-173,7$ ‰ (табл. 3). Наледный лед в целом изотопически немного более “тяжёлый” по сравнению с поверхностными водами ручья Улахан-Тарын, значения  $\delta^{18}\text{O}$  составляют  $-22,18$ ‰, а величина  $\delta^2\text{H}$  –  $-175,1$ ‰. Грунтовые воды изотопически близки к водам ручья они также изотопически более “легкие” по сравнению с наледным льдом, в них значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-22,17$  до  $-22,25$ ‰, величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-173,7$  до  $-175,1$ ‰.

Таблица 3. Изотопный состав наледи, Булуус, Улахан-Тарын, Центральная Якутия, июль 2023 г.

| Полевой номер | Глубина, см | Тип пробы          | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ | $\delta^2\text{H}$ , ‰ |
|---------------|-------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| Ultar-23-1/1  | 0           | Поверхностные воды | $-22,18$                  | $-175,1$               |

|              |       |                |        |        |
|--------------|-------|----------------|--------|--------|
| Ultar-23-4/1 | 0     | Грунтовые воды | -22,17 | -173,6 |
| Ultar-23-5/1 | 0-10  | Наледь         | -20,4  | -161,1 |
| Ultar-23-5/2 | 10-20 | Наледь         | -20,1  | -159,5 |
| Ultar-23-5/3 | 20-30 | Наледь         | -21,2  | -166,6 |
| Ultar-23-5/4 | 30-40 | Наледь         | -22,2  | -173,7 |
| Ultar-23-5/5 | 40-50 | Наледь         | -20,8  | -164,9 |
| Ultar-23-5/6 | 50-60 | Наледь         | -20,2  | -160,9 |
| Ultar-23-5/7 | 60-70 | Наледь         | -21,9  | -170,7 |
| Ultar-23-6/1 | 0     | Грунтовые воды | -22,25 | -173,7 |

### Дискуссия

**Изученность наледей.** Изучение наледей начато А.Ф.Миддендорфом, Г.Л.Майделем, К.Дитмаром, С.А.Подъяконовым еще в середине XIX в. В развитие наледеведения большой вклад внесли В.Р.Алексеев, А.П.Горбунов, М.И.Сумгин, Н.И.Толстихин, В.Г.Петров, А.М. Чекотилло, Д.Лассель, Ф.Майкл, К.Йошикава и др. Установлены факторы наледообразования: естественная гравитационная разгрузка бассейнов подземных вод; промерзание водоносных систем с образованием криогенного напора; приложение внешней нагрузки на ледяной покров; колебания расходов подналедных водных потоков; таяние снега и льда в условиях частого перехода воздуха через 0<sup>о</sup>С; водоприток на охлажденный берег в результате периодических и непериодических приливов; сброс промышленных и бытовых вод в холодное время года. По ориентировочным данным суммарная площадь наледей на территории Сибири составляет около 130 000 км<sup>2</sup>.<sup>[1,2]</sup> По размерам наледи изменяются от очень мелких (площадь до 103 м<sup>2</sup>, объём до 103 м<sup>3</sup>) до гигантских (площадь более 107 м<sup>2</sup>, объём более 2,2×107 м<sup>3</sup>). По времени существования выделяются однолетние (полностью оттаивающие летом), летующие (существующие до конца лета), многолетние (существующие несколько лет), наледи.

Основное внимание обычно привлекают крупные ледяные поля, формирующиеся за счет излияния и последующего намораживания подземных вод. Как правило, такие массивы льда «нанизаны» на русла рек, имеют округлую конфигурацию и распространяются на всю ширину днища долины, отделяясь, друг от друга значительными расстояниями. Изучению наледей других генетических типов (речных, талых снеговых, озерных вод) посвящено относительно небольшое число работ. Вследствие этого сложилось мнение, что на реках Сибири и Дальнего Востока наледи, хотя и имеют большие размеры, но встречаются локально, т.е. не образуют сплошных ледяных покровов по длине водотоков. Например, в Каталогах наледей зоны БАМ, отражены характеристики более 4000 наледей подземных вод, зафиксированных специальной аэрофотосъемкой на территории 260000 км<sup>2</sup>. Все они демонстрируют дискретный характер распределения ледяных массивов. Между тем, наблюдения на сибирских реках<sup>[3]</sup> показали, что наледи имеют более широкое распространение, и что происхождение их носит гетерогенный характер.

В суровых климатических условиях Азиатской части России, особенно к востоку от Енисея, в зоне распространения многолетнемерзлых пород с её исключительно бедным грунтовым питанием, наблюдается перемерзание рек до дна. В руслах рек Восточной Сибири и других районов зимой нередко наблюдается висячий ледяной покров, так называемый «сушняк»; он образуется при снижении уровня воды вследствие истощения питания реки и, главным образом, уменьшения запасов грунтовых вод.

Вследствие стеснения русла при ледоставе, иногда наблюдается выход воды через трещины на лед, в результате чего образуются наледи больших или меньших размеров. Наледи, наблюдаемые на реках Европейской части России, невелики и по своим размерам чаще всего не превышают по площади 1 км<sup>2</sup>. В Азиатской части России, особенно в Восточной Сибири, широко распространены гигантские наледи, называемые по-якутски "тарыны", площадь которых достигает иногда несколько десятков квадратных километров, а объем исчисляется десятками и сотнями миллионов кубических метров. При этом льдом заполняется не только русло, но нередко и всё дно долины.

Площадь Момской наледи в долине р. Момы (приток Индигирки) достигает 160-180 км<sup>2</sup>, а объем - 500-600 млн. м<sup>3</sup>, Кырская наледь (долина р. Кыры) имеет площадь до 28 км<sup>2</sup>, а объем - до 38 млн. м<sup>3</sup>. Подобные мощные ледяные хранилища вод, стаивая летом, оказывают существенное влияние на меженное питание рек. При объеме наледи в 38 млн. м<sup>3</sup> река за 3-4 летних месяца получит за счет таяния льда дополнительное питание в среднем 4-5 м<sup>3</sup>/сек; Момская наледь дает 16-20 м<sup>3</sup>/сек.

На реках Восточной Сибири наряду с гигантскими наледями встречаются незамерзающие участки и полыньи (по-якутски - аймы). На р. Омолон, например, в зиму 1928/29 г. 20-30% общей поверхности русла не было покрыто льдом; то же явление отмечено на р. Коркодон и других водотоках.

В пределах горного пояса Восточного Саяна и Хамар-Дабана встречаются крупные наледные поля речных, подземных вод и смешанного типа, практически ежегодное формирование которых обусловлено резко континентальным суровым климатом, большой продолжительностью зимнего сезона, наличием многолетнемерзлых пород, достаточно высокими запасами подземных вод и промерзанием рек. Наледи речных вод наиболее часто встречаются в руслах рек, пересекающих межгорные впадины и равнины.

Здесь они следуют друг за другом почти без перерывов, образуя широкие ледяные ленты длиной до 70 км и мощностью до 1,5 м. Формирование их обычно прекращается в ноябре-декабре. Наледи подземных вод (грунтовые и ключевые), приурочены чаще всего к распадкам гор и ущельям и имеют мощность 3-4 м. Иногда встречаются висячие наледи, а также погребенные под тонким слоем делювия.<sup>[1]</sup> Нередко наледный лед перемещает достаточно крупные обломки и даже валуны на большое расстояние по реке (рис. 7).



Рис. 7. Крупные валуны вмерзшие в нижнюю часть речной наледи на р.Моме. Фото С.Карпухина

Результаты натурных исследований на р. Уде, в районе впадения в нее р.Нерхи, дали возможность описать механизм образования речных наледей. Наибольшее распространение в исследуемом регионе получили наледи, образованные при перемерзании большинства малых рек длиной до 30-50 км и на некоторых водотоках



длиной до 100-150 км. Главной причиной образования таких наледей является возникновение дополнительного напора в связи с уменьшением пропускной способности русла при нарастании льда или увеличении водности потока. Механизм излияния вод, образующих напорные наледи, сходен с механизмом образования наледей речных вод. Различия состоят лишь в особенностях деформации льда и водонасыщенного мерзлого грунта который, обладая достаточной жесткостью, деформируется незначительно, что приводит к приращению напора по длине подруслового потока при его промерзании. Этот напор распространяется к не промерзшим участкам рек, где и происходит излияние наледных вод. Наиболее интенсивно наледные процессы развиваются в гольцовом поясе горных хребтов Восточного Саяна. Большинство ледяных массивов, их суммарная площадь и объем приурочены к абс. высотам 1200–1600 м. Здесь же фиксируются максимальные значения мощности наледей.

В.Р.Алексеевым, О.А.Ковальчук, В.В.Кравченко и сотрудниками лаборатории гляциологии Института географии СО РАН выполнены долгосрочные режимные наблюдения в Саянах на водотоках различного порядка: бассейна реки Уды, рек Эгеги и Эдена (на полигонах Эден, Шаманка и Синий Камень). Стационарные наблюдения позволили исследовать основные закономерности нарастания и стаивания наледного льда в горной области Восточного Саяна, определить долю наледного питания в подземном и речном стоке, оценить значение наледных процессов перераспределении природных вод.

Рост наледей здесь начинается в конце октября - начале ноября. Наиболее интенсивный рост наледей связан с условиями их питания и происходит во второй половине зимы. Средний объем наледей подземных вод постепенно увеличивается с повышением высоты местности, достигая своего максимума у верхней границы леса. Здесь же фиксируется и наибольшая площадь ледяных полей. Ограниченно развиты речные наледи в гольцовом и подгольцовом поясах, в связи с наличием мощного снежного покрова, активное, но непродолжительное наледообразование в прибортовых частях долины.<sup>[2]</sup>

Процесс разрушения наледей начинается с середины апреля и заканчивается в июле – августе. Интенсивность таяния больше в начальный период. Основными факторами разрушения наледей являются количество поступающего на поверхность наледи тепла, механическое воздействие водных потоков и атмосферных осадков. Ежегодное формирование наледей обеспечивает ступенчатость продольного профиля русла, приводит к нивелировке наледного ложа и расширению днища долины. Из-за этого происходит смещение наледных полей вверх или вниз по течению реки. В связи с развитием процессов наледной денудации происходит разрушение береговых уступов и их отступление, вследствие чего размеры наледной поляны постепенно увеличиваются (скорость отступления в среднем 20-30 см в год, в отдельных случаях до 100 см и более).

Наледи и наледные процессы сопровождаются серией опасных явлений природы - пучением грунтов, суффозией, солифлюкцией, термокарстом.<sup>[1]</sup> Среди сопутствующих наледям явлений отмечаются бугры пучения и гидролакколиты. Большой интерес вызвали полости в ледяном покрове наледных рек, образованных, вследствие тонкослойного намораживания воды по бортам долины и сближения образующихся при этом мощных ледяных массивов.

Стационарные наблюдения за процессами наледообразования в Прибайкалье проводились в 2004-2006 гг.. сотрудниками Иркутский, Читинской и Бурятской гидрометеослужб на двух наблюдательных участках: - участок «Култук» (район поселка

Култук Иркутской области) в 7 очагах: падь Синюха, р. Тигунчиха, падь Лесная, падь 1-Воротная, падь 2-Воротная, ул. Школьная, р. Медлянка-1, Медлянка. В 2006 г. на этом участке образование наледей происходило в основном за счет техногенного нарушения поверхностного и подземного стока. В зимний период из-за того, что по руслу р. Медлянка была накатана автодорога, произошло промерзание русла реки с образованием наледи, которая залила более 10 приусадебных участков и угрожала зданию школы на ул. Кирова. Образование второй наледи связано с нарушением естественного стока при строительных работах на железной дороге. Наледообразование в долине р. Тиганчиха было связано со слабой пропускной способностью моста на федеральной автодороге. В 2006 г. наледь подтопила несколько жилых домов, магазин, хозяйственные постройки и территорию, прилегающую к автобазе.

По результатам обследования трассы Восточно-Сибирской железной дороги наиболее высокая степень пораженности наледными процессами выявлена на перегоне пос. Выдрино – пос. Тимлюй, где наледи встречаются в среднем через каждые 10 км трассы. Мостовые переходы железнодорожных путей перекрыты наледным льдом на 40-90%; защитные мероприятия проводятся железнодорожными службами и сводятся к отсыпке противоналедных дамб, рыхлению и околке льда под мостами, прорубки траншей и канав для отвода воды. Мероприятия эти малоэффективны и применяются как временные меры по снижению активности воздействия процесса на железную дорогу, но требуют немалых трудовых и материальных затрат ежегодно. На перегоне пос. Тимлюй – г. Улан-Удэ в 2006 г. наледи наблюдались вдоль русел небольших рек Тимлюйка, Поперечная, Чернушка, Мостовка, руч. Ошурково. В целом в результате проведенного обследования трассы ВСЖД можно отметить приуроченность наледей к руслам малых горных рек, где площади наледных тел составляют от 0,1 до 2 км<sup>2</sup>. В большинстве случаев возникновение наледей провоцируется созданием искусственных преград речному стоку при строительстве насыпей железных и автомобильных дорог, зарегулировании стока для мелиоративных целей и т.д.

В.Р. Алексеевым<sup>[1,2]</sup> показано, что для изучения наледных явлений можно получать оперативные данные о состоянии наледей посредством краткосрочных наземных, аэровизуальных и авиадесантных наблюдений, а также аэро- и космической съемки, с использованием характерных признаков и свойств криогенных природных комплексов. По материалам многолетних исследований наледей и наледных процессов на специальных гляциологических полигонах в Забайкалье и Восточном Саяне подготовлен атлас ландшафтных индикаторов, включающий их характеристики, типичные виды наледей и наледных ландшафтов.

По наблюдениям Н.А.Павловой и В.В.Шепелева<sup>[31]</sup> в верховье урочища Булуус осыпание и выполаживание склонов с последующим залесением дна долины ручья способствовали новообразованию многолетнемерзлых пород. О процессе постепенного промерзания краевой части талика свидетельствует миграция мест выходов подземных вод из головной части распадка в его среднюю часть. Ухудшению водообмена в верховье урочища способствует и режим формирования наледи. Детальные наблюдения за ростом и таянием наледи в урочище Булуус выполнены сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН в 1960-х гг.<sup>[31]</sup> В последнее десятилетие проводились лишь разовые замеры мощности наледи в декабре и в марте. Наледообразование в распадке начинается в его верховье за счет промерзания рассредоточенных малодобитных источников. На остальной площади до второй декады декабря наледь не формируется. По сравнительно глубоко врезанному руслу ручья вода из высокодебитных источников стекает в старичное озеро, расположенное на низкой надпойменной террасе р. Лены. В



январе–феврале после промерзания основного русла ручья начинается усиленный рост наледи. Темп наращивания ее мощности и объема в средней и нижней частях распадка значительно превосходят скорость наледеобразования в его верховье. Поэтому максимальная мощность наледи к концу зимы достигает 4–6 м в районе родников, а в головной части распадка менее 0.5 м. Наледь оказывает тепляющее действие на подстилающие грунты. Соответственно, ее тепловой эффект минимален в верховье распадка Булуус, где отмечается наименьшая мощность наледи и разгрузка подземных вод прекращается в первой половине зимы. [\[31\]](#)

Подпор формирующейся наледью и промерзание пород в районе рассредоточенных малодобитных источников способствуют разъединению водоносного горизонта на отдельные талые “карманы”, состав воды в которых, по мнению В.В.Шепелёва [\[31\]](#) преобразуется за счет криогенной метаморфизации.

В результате многолетних исследований источников подземных вод Улахан-Тарын Л. А. Гагариным с коллегами [\[13\]](#) установлено, что область питания подземных вод межмерзлотного водоносного горизонта приурочена частично к аласному и межаласному типам местности и преимущественно к песчано-грядовому. В первых двух типах местности гидравлическая связь поверхностных вод с межмерзлотным водоносным горизонтом осуществляется через сеть водопоглощающих подозерных таликов. В песчано-грядовом типе местности инфильтрационное питание межмерзлотного водоносного горизонта происходит как через субаквальные (подозерные), так и субаэральные надмерзлотные талики. Здесь же расположена и область транзита подземных вод. В ее пределах межмерзлотный водоносный талик неоднократно был вскрыт разведочными скважинами на глубинах 24–36 м под толщей ММП. Мощность талика не выдержана и изменяется от 8 до 25 и более м. Наличие перекрывающего и подстилающего криогенного водоупора определяет напорный режим фильтрации межмерзлотных вод, уровень которых устанавливается в скважинах на 24–34 м выше кровли водоносного горизонта. Вблизи зоны разгрузки подземных вод глубина залегания межмерзлотного водоносного горизонта составляет 16–27 м, мощность его увеличивается до 32–56 м, а напор межмерзлотных вод не превышает 7–12 м. Зимой практически сухие пески сезонноталого слоя (весовая влажность не более 5%) в песчано-грядовом типе местности обеспечивают низкую теплопроводность мерзлых горных пород, а в теплый период года быстрая инфильтрация талых снеговых вод и атмосферных осадков, сопровождающаяся увеличением теплопроводности песков, способствует глубокому их протаиванию – до 4–5 м. Межмерзлотный водоносный горизонт – является крупным источником тепла, также вносит значительный вклад в формирование температурного режима пород. Об этом свидетельствуют высокие значения среднегодовой температуры ММП (до  $-0.2^{\circ}\text{C}$ ), перекрывающих межмерзлотный водоносный горизонт, и сокращение мощности слоя годовых теплооборотов вплоть до совпадения его с мощностью слоя сезонного протаивания пород. [\[13\]](#)

К.Йошикава с соавторами [\[45\]](#) установили, что источником зимнего стока в восточной части хребта Брукс на Аляске являются преимущественно родниковые воды внутри- и подмерзлых водоносных горизонтов. Сравнение современных и исторических изображений наледей показало, что, хотя размер наледей варьирует от года к году, общее расположение остается почти постоянным.

Изучение наледной активности имеет важное практическое значение при оценке наледной опасности на трассах автозимников, на участках проектирования и строительства мостов, ледовых переправ, трубопроводов, при прогнозировании

весенних паводков и ледяных заторов, при общей оценке проходимости территории и т.д.

### ***Вариации изотопного состава льда наледей***

Как уже сказано, изотопный состав наледи Булуус (Улахан-Тарын) мало варьирует: значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-20,2$  до  $-21,9\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-159,5$  до  $-173,7\text{‰}$ . Напомним, что изотопный состав наледных льдов на реке Вилюй также варьирует в очень узком диапазоне<sup>[10]</sup>: а) наледь 1 – значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-19,3$  до  $-20,9\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-156,5$  до  $-162,9\text{‰}$ ; б) наледь 2 – значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-19,7$  до  $-22,4\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-153,2$  до  $-173,1\text{‰}$ ; в) наледь 3 – значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-19,8$  до  $-22,7\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-162,9$  до  $-181,3\text{‰}$ .

Заметим, что изученный фрагмент наледи Булуус (Улахан-Тарын) является только нижней частью наледи. Как уже сказано, наледь достигает мощности 3 м в конце зимы; на момент исследования (начало июля) мощность наледи составляла 115 см (см. рис. 5), поэтому изученный фрагмент это примерно половина первоначальной наледи. При этом для изотопных определений отобраны только верхние 70 см оставшейся части наледи, нижний фрагмент мощностью 45 см не опробован. В итоге можно рассматривать изотопное распределение только в определенном фрагменте наледи (придонный фрагмент не отобран, верхняя часть стаяла).

Мы предположили, что формирование наледного льда происходило, наиболее вероятно, при промерзании грунтовых вод в условиях закрытой системы (подобной приводимой Д.Ласселем<sup>[39]</sup>), нарастание наледи шло снизу-вверх, при послойном намерзании порций воды и рассчитали модельное распределение значений  $\delta^{18}\text{O}$  в формирующейся послойно наледи по формуле Рэлей. Промерзание воды сопровождается изотопным фракционированием, в результате первые 60-65% образующегося льда изотопно тяжелее воды на  $1,8-2,8\text{‰}$  по значениям  $\delta^{18}\text{O}$ .<sup>[39,41]</sup> При этом происходит облегчение изотопного состава по кислороду на  $1,8-2,8\text{‰}$  остающейся воды при равновесных условиях; выше скорость промерзания, тем ниже коэффициент фракционирования и тем меньше разница в изотопном составе между водой и льдом.

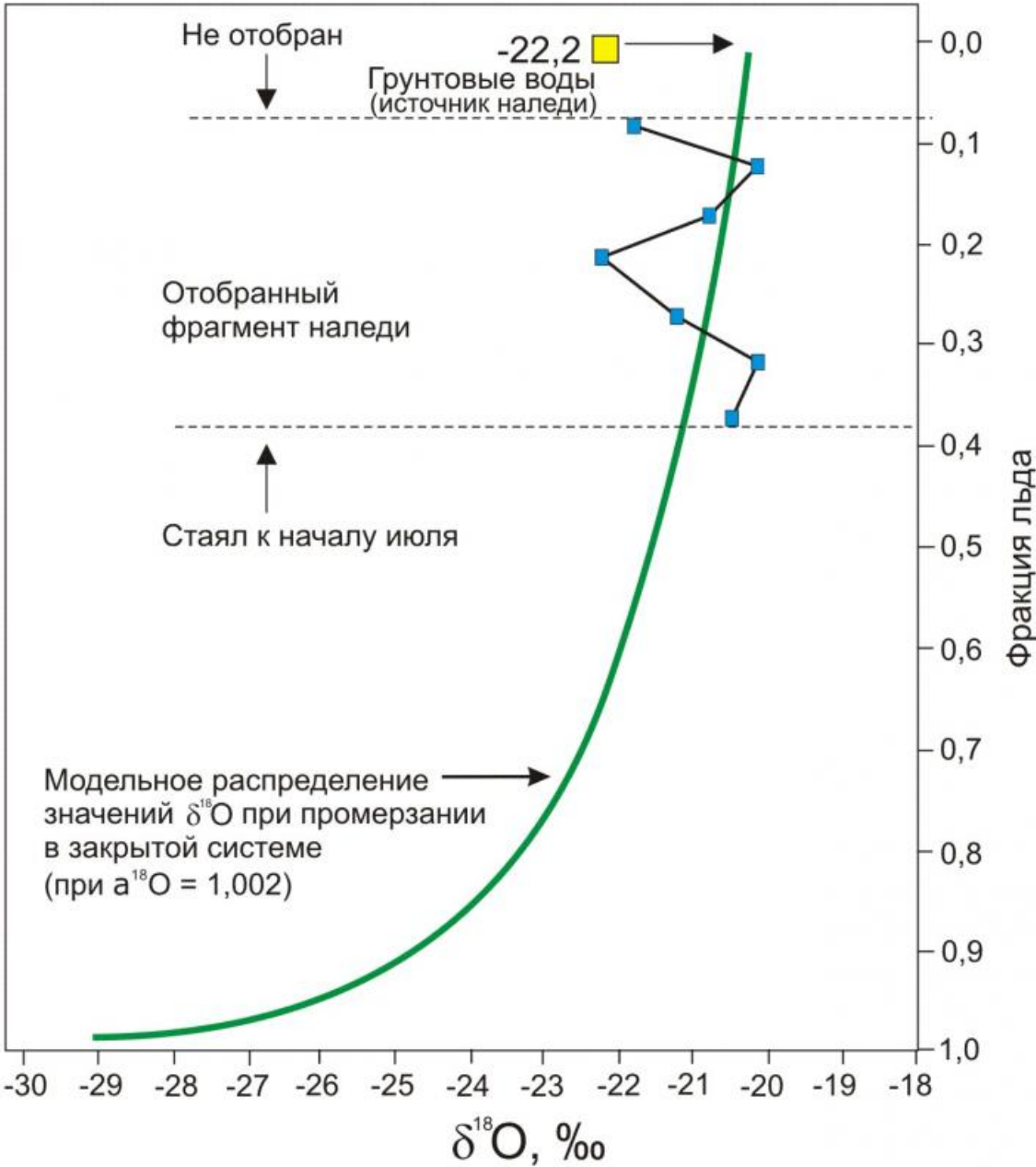


Рис. 8. Распределение значений  $\delta^{18}\text{O}$  в фрагменте наледи Булуус и рассчитанное по формуле Рэля теоретическое распределение значений  $\delta^{18}\text{O}$  во льду при последовательном промерзании первоначального объёма излившейся воды (зеленая линия)

Самый нижний слой наледи (предположительно 20 см), скорее всего, представляют собой лед воды р.Булуус, расположенные выше слои уже скорее всего образовались при излиянии на поверхность и замерзания грунтовых вод. В исследуемом фрагменте наледи нами, скорее всего, опробован лед последовательно формировавшихся фракций (слоев) от 0,09 до 0,38 (табл. 4, рис. 8).

Таблица 4. Распределение изотопных значений ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $d_{\text{exc}}$ ) во фракциях льда исследованного фрагмента наледи

| Глубина от поверхности, см | Предполагаемая фракция льда | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ | $\delta^2\text{H}$ , ‰ | $d_{\text{exc}}$ , ‰ |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 0-10                       | 0-38                        | -20.4                     | -161.1                 | 2.1                  |

| Глубина, м | Фракция льда, % | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ | $\delta^2\text{H}$ , ‰ | $d_{\text{ex}}$ , ‰ |
|------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------|
| 10-20      | 0,33            | -20,1                     | -159,5                 | 1,3                 |
| 20-30      | 0,28            | -21,2                     | -166,6                 | 3,0                 |
| 30-40      | 0,23            | -22,2                     | -173,7                 | 3,9                 |
| 40-50      | 0,18            | -20,8                     | -164,9                 | 1,5                 |
| 50-60      | 0,13            | -20,2                     | -160,9                 | 0,7                 |
| 60-70      | 0,09            | -21,9                     | -170,7                 | 4,5                 |

Первые фракции льда (если считать источником воды грунтовые воды со значением  $\delta^{18}\text{O} = -22,2\text{‰}$ , см. табл. 3) теоретически могли характеризоваться значением  $\delta^{18}\text{O} = -20,2\text{‰}$ , если коэффициент фракционирования  $\alpha^{18}\text{O} = 1,002$  (некоторое среднее значение при осредненной скорости промерзания воды). Следующие порции льда, намерзающие снизу-вверх должны характеризоваться постепенным снижением значений изотопного состава, т.к. остающаяся вода также постепенно изотопно обедняется. Идеальное (модельное) распределение изотопного состава льда при промерзании объема воды (со значением  $\delta^{18}\text{O} = -22,2\text{‰}$ ) имеет вид плавной кривой со значениями для образующегося льда от  $-20,2$  до  $-29\text{‰}$  (см. рис. 8).

Реальное распределение изотопного состава фрагмента наледи отличается от модельного пилообразной формой (см. рис. 8), хотя в целом тенденция снижения изотопного состава по мере нарастания наледи (от фракции льда 0,09 до 0,38) прослеживается. Такой пилообразный характер изотопной кривой может объясняться тем, что на поверхность наледи периодически выпадает изотопно легкий снег и грунтовые воды, смешиваясь со снегом, формируют слои льда с более низким изотопным составом (отрицательные пики на изотопной кривой). Более низким значениям  $\delta^{18}\text{O}$  соответствуют более низкие значения  $\delta^2\text{H}$  и более высокие значения  $d_{\text{ex}}$  (рис. 9, а-в), что может соответствовать зимним осадкам (зимний снег, как правило, характеризуется более высокими значениями  $d_{\text{ex}}$ ).

Также можно предположить, что промерзанию подвергались несколько водоносных горизонтов, и промерзание каждого из них сопровождалось изливанием воды на поверхность с образованием первых слоев с более тяжелым изотопным составом (положительные пики на изотопной кривой).

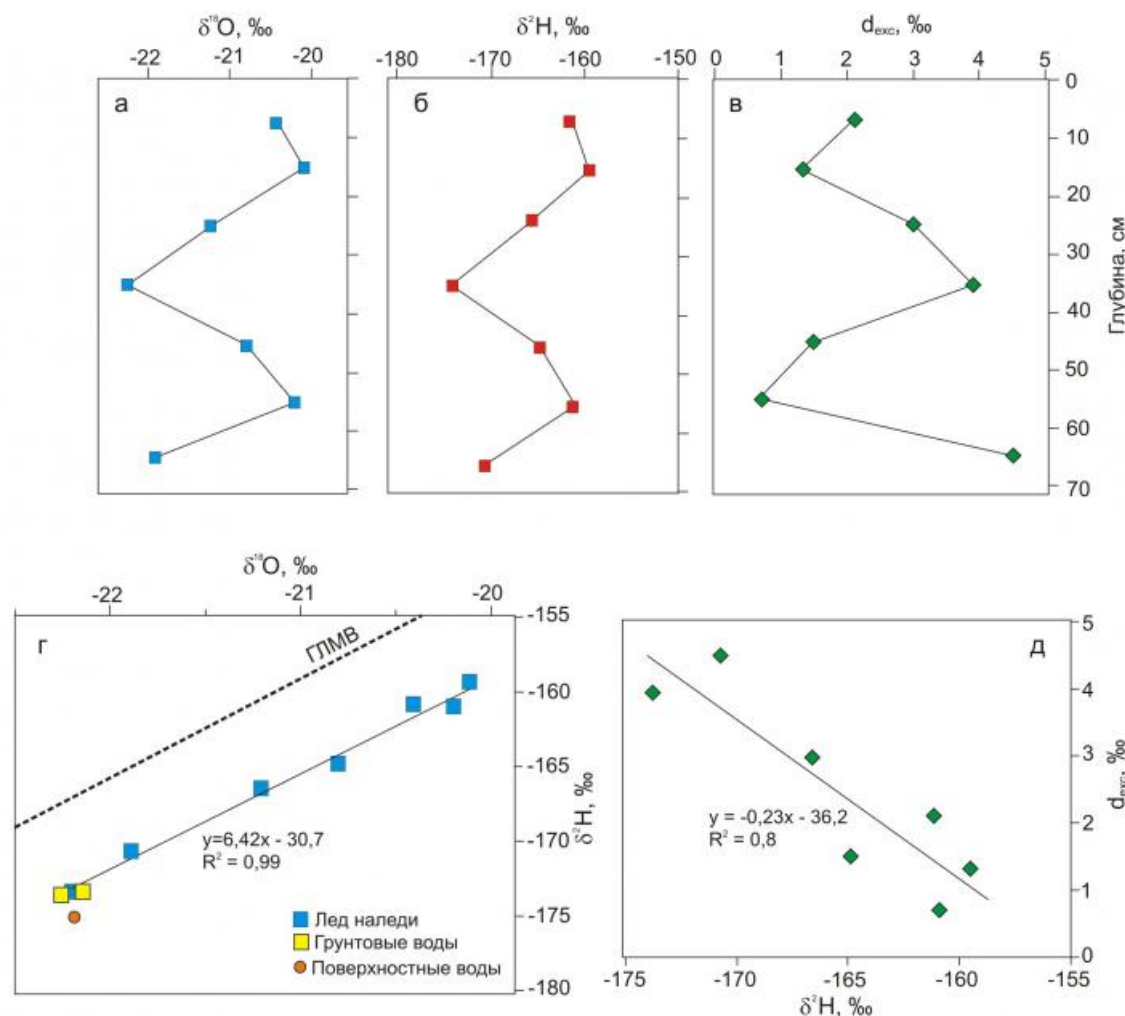


Рис. 9. Распределение значений изотопного состава (а –  $\delta^{18}\text{O}$ , б –  $\delta^2\text{H}$ , в –  $d_{\text{excess}}$ ) по вертикали в наледи Булуус, соотношение  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  во льду наледи и грунтовых и поверхностных водах (г) и  $d_{\text{excess}}$ - $\delta^2\text{H}$  (д) во льду

В любом случае, значения изотопного состава во вскрытом фрагменте наледи не противоречат теории промерзания жидкой воды в равновесных условиях, т.к. линия соотношения  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  имеет наклон 6,4 (рис. 9, г), что находится в диапазоне 6,2-7,3 для теоретически рассчитанных наклонов соотношений  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  для идеального релеевского фракционирования при переходе воды в лед; также соотношение  $d_{\text{excess}}$ - $\delta^2\text{H}$  имеет отрицательное значение наклона = -0,23 (рис. 9, д), что может указывать на промерзание жидкой воды (не атмосферных осадков, для которых корреляция между  $d_{\text{excess}}$ - $\delta^2\text{H}$  отсутствует). Это значение близко к теоретически рассчитанному Д. Ласселем [39] наклону  $d_{\text{excess}}$ - $\delta^2\text{H} \approx -0,25$  для льда, формировавшегося в равновесных условиях промерзания.

Ранее авторами было проведено исследование изотопного состава 3-х наледей в долине р.Вилуй. [10] Сравнение соотношения величин  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  наледных льдов Булуус (рис. 10, а) и трёх наледей на реке Вилуй (рис. 10, б) показало сходство ко-изотопных уравнений, коэффициенты соотношения составляют 6,7 для наледного льда Булуус и 6,0, 5,3 и 5,1 для трёх наледей на реке Вилуй. Это демонстрирует, что механизм формирования наледей сходен. Также можно отметить, что изотопный состав наледных

льдов на реке Вилюй также варьирует в очень узком диапазоне: значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются в диапазоне от 1,6 до 1,9‰, значения  $\delta^2\text{H}$  – от 6,4 до 19,9‰.

Однако значения изотопного состава грунтовых вод – источников воды для вилюйских наледей – более контрастные: для двух вилюйских наледей (№№2 и 3) изотопный состав воды источника расположен внутри диапазона значений по наледи, для вилюйской наледи №1 вода источника более изотопно легкая (как в случае с наледью Булуус и ее источником). Такое различие может говорить о том, что наледи 2 и 3 формировались скорее в условиях более закрытой системы, когда сначала происходит утяжеление изотопного состава льда, а потом его постепенное облегчение. Для наледи 1 такие условия в полной мере не были реализованы, т.к. отмечено утяжеление изотопного состава льда снизу-вверх.

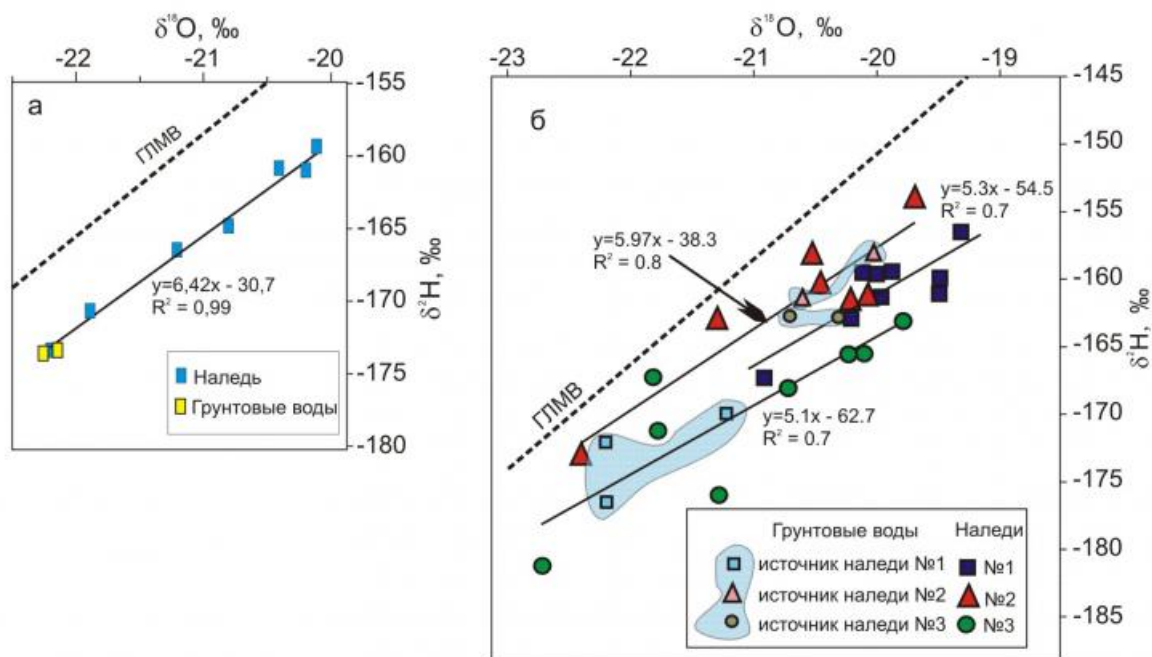


Рис. 10. Диаграммы соотношения величин  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  наледи Булуус (а) и трёх наледей на реке Вилюй (б)

Сравнение соотношения величин  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  наледных льдов Булуус (рис.10, а) и трёх наледей на реке Вилюй (рис. 10, б) показало сходство ко-изотопных уравнений, коэффициенты соотношения составляют 6,7 для наледного льда Булуус и 6,0, 5,3 и 5,1 для трёх наледей на реке Вилюй. Это демонстрирует, что механизм формирования наледей сходен. При промерзании в закрытой системе наледей может происходить изотопное фракционирование, при послойном процессе роста наледей снизу вверх. Промерзание воды может сопровождаться образованием льда, который тяжелее воды источника на 1,8-2,8‰. При этом происходит облегчение изотопного состава по кислороду на 1,8-2,8‰ остающейся воды при равновесных условиях, более быстрое промерзание, обычно, существенно снижает фракционирование; Нижние слои наледи сформировались из грунтовых вод – величина  $\delta^{18}\text{O}$  льда в придонной части наледи Булуус на глубине 0,4-0,7 м составляет ниже  $-22\text{‰}$ . В слоях льда, залегающих выше величина  $\delta^{18}\text{O}$  колеблется от  $-21,2\text{‰}$  до  $-22,2\text{‰}$ , что возможно отражает некоторое участие изотопически более легкого снега.

## Выводы

Исследование изотопного состава наледных льдов позволило установить, что:

- изученный фрагмент наледи Улахан-Тарын является нижней частью наледи. Как уже сказано, наледь достигает мощности 3 м в конце зимы, на момент исследования (начало июля) мощность наледи составляла 115 см;
- Изотопный состав наледи Булуус мало варьирует: значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-20,2$  до  $-21,9\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-159,5$  до  $-173,7\text{‰}$ . Наледный лёд в целом изотопически немного более "тяжёлый" по сравнению с поверхностными водами ручья Улахан-Тарын, значения  $\delta^{18}\text{O}$  составляют  $-22,18\text{‰}$ , а величина  $\delta^2\text{H}$  –  $-175,1\text{‰}$ . Грунтовые воды изотопически близки к водам ручья они также изотопически более "легкие" по сравнению с наледным льдом, в них значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-22,17$  до  $-22,25\text{‰}$ , величины  $\delta^2\text{H}$  варьируют от  $-173,7$  до  $-175,1\text{‰}$ ;
- При промерзании наледей в закрытой системе может происходить изотопное фракционирование, при послойном процессе роста наледей снизу вверх. Промерзание воды может сопровождаться образованием льда, который тяжелее воды источника на  $1,8\text{--}2,8\text{‰}$ . При этом происходит облегчение изотопного состава по кислороду на  $1,8\text{--}2,8\text{‰}$  остающейся воды при равновесных условиях, обычно, более быстрое промерзание существенно снижает фракционирование;
- Нижние слои наледи сформировались из грунтовых вод – величина  $\delta^{18}\text{O}$  льда в придонной части наледи Булуус на глубине  $0,4\text{--}0,7$  м составляет ниже  $-22\text{‰}$ . В слоях льда, залегающих выше величина  $\delta^{18}\text{O}$  колеблется от  $-21,2\text{‰}$  до  $-22,2\text{‰}$ , что возможно отражает некоторое участие изотопически более легкого снега.

## Библиография

1. Алексеев В. Р. *Наледи* / Отв. ред. В. В. Воробьев. Новосибирск: Наука: Сиб. отделение, 1987.
2. Алексеев В. Р. *Ландшафтная индикация наледных явлений*. Институт географии СО РАН; отв. ред. В. А. Снытко. Новосибирск: Наука, 2005.
3. Алексеев В.Р., Савко Н.Ф. *Теория наледных процессов (инженерно-географические аспекты)*. М.: Наука, 1975. 204 с.
4. Алексеев В.Р. Многолетняя изменчивость родниковых наледей-тарынов // *Лёд и Снег*. 2016. Т. 56. №1. С. 73–92. doi:10.15356/2076-6734-2016-1-73-92
5. Анисимова Н.П. Некоторые особенности формирования химического состава озерного и наледного льда в Центральной Якутии // *Наледи Сибири*. М.: Наука, 1969. С. 183–190.
6. *Атлас Якутской АССР* / Ред. Т.Д. Сивцев и др. М.: ГУГК СССР, 1981. 41 с.
7. Баишев Н.Е., Шепелёв В.В., Гагарин Л.А. О закономерностях распространения наледей на федеральной автодороге А-360 «Лена» по данным мультиспектральных космических снимков // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021. Т. 26. №1. С. 60–69. doi: 10.31242/2618-9712-2021-26-1-6
8. Богомолов Н.С., Складаровская А.Н. О взрывах гидролакколитов в южной части Читинской области // *Наледи Сибири*. М.: Наука, 1969. С. 127–130.
9. Бойцов А.В. *Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стока в Центральной Якутии* / Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Якутск: Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2002. 23 с.
10. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Гинзбург А.П., Васильчук А.К. Стабильные изотопы кислорода и водорода в наледях долины реки Вилюй // *Арктика и Антарктика*. 2022.



- № 1. С. 1–37. doi: 10.7256/2453-8922.2022.1.37931
11. *Восточная Сибирь* // Гидрография СССР. Гл. 23 / Соколов А.А. 1954.
12. Гагарин Л.А. *Динамика термосуффузионных процессов в криолитозоне (на примере Центральной Якутии)* / Дис. канд. геол.-минерал. наук. Якутск: Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2013. 141 с.
13. Гагарин Л.А., Оленченко В.В., Павлова Н.А. О причинах затухания термосуффузионных процессов на Бестяхской террасе р. Лены в Центральной Якутии // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2023. №5. С. 28–42. doi: 10.31857/S0869780923040045
14. Гагарин Л.А., Бажин К.И., Оленченко В.В., Огонеров В.В., Ву Цинбай. Выявление участков потенциального термосуффузионного разуплотнения грунтов вдоль федеральной автодороги А-360 «Лена» в Центральной Якутии // *Криосфера Земли*, 2019. Т. XXIII. №3. С. 61–68. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-3(61-68).
15. Десяткин Р.В. *Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны* / Автореф. дис. докт. биол. наук. Улан-Удэ, 2006. 48 с.
16. Десяткин Р.В. Аласные экосистемы – основа развития скотоводства в суровых природно-климатических условиях Якутии // *Наука и техника в Якутии*. 2021. №2(41). С. 13–18.
17. Зайцев А.А., Кирик О.М., Михайлов В.С. Взаимодействие речного льда с руслом на р. Лене и её притоках // *Эрозия почв и русловые процессы*. Вып. 16. М.: МГУ. 2008. С. 242–262.
18. Камалетдинов В.А., Минюк П.С. Строение и характеристика отложений Бестяхской террасы средней Лены // *Бюлл. комис. по изуч. четв. периода*, №60. 1991. С. 68–78.
19. *Летопись погоды в Покровске (Якутия)* [Электронный ресурс]. Электронная база данных «Погода и климат». URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/24856.htm>
20. *Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)* / Гл. ред. М.Н. Железняк; Якутск: Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018.
21. Мурзин А.Ю. Наледи Якутии // *Наука и техника в Якутии*. 2006. №2 (11). С. 100–104.
22. Оленченко В.В., Гагарин Л.А., Христофоров И.И., Колесников А.Б., Ефремов В.С. Строение участка развития термосуффузионных процессов в пределах Бестяхской террасы реки Лены по геофизическим данным // *Криосфера Земли*. 2017. Т. XXI. №5. С. 16–26. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(16-26)
23. Паламарчук В.А., Лебедева Л.С., Павлова Н.А., Хайруллин Р.Р., Баишев Н.Е. Современное состояние источников подземных вод песчаного массива Махатта, Восточная Сибирь // *Криосфера Земли*. 2023. Т. XXVII. №4. С. 24–36. DOI: 10.15372/KZ20230403.
24. Петров В.Г. *Наледи на Амурско-Якутской магистрали*. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. 177 с.
25. Правкин С.А., Большаков Д.Ю., Поморцев О.А., Савельева Л.А., Молодьков А.Н., Григорьев М.Н., Арсланов Х.А. Рельеф, строение и возраст четвертичных отложений долины р. Лены в Якутской излучине // *Вестн. СПбГУ. Науки о Земле*. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 209–228. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.206>
26. *Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 17. Ленско-Индигирский район*. Вып. 4. Бассейн р. Лены от устья р. Алдан до устья р. Вилюй и бассейн р. Вилюй / Ред. А.С. Шарогузов. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 128 с.
27. Саввинов Д.Д., Прокопьев Н.П., Федоров В.В., Горохов А.Н., Дмитриев А.И., Пестерев А.П., Гаврильева Л.Д., Поисеева С.И., Архипов В.В., Аверенский А.И., Ларионов А.Г., Босиков Н.П., Килибаева О.Н., Габышева П.Е. *Экология аласных*

экосистем. Якутск, 2002. 68 с.

28. Спектор В.В., Спектор В.Б., Боескоров Г.Г., Белолюбский И.Н., Бакулина Н.Т. Перигляциальный аллювий центрально-якутской равнины по данным изучения опорного обнажения Песчаная гора // *Вестн. ЗабГУ*. 2017. Т. 23. №5. С. 45–59. DOI: 10.21209/2227924520172354559.
29. Чевычелов А.П. Мерзлотные почвы Центральной Якутии: география, генезис и разнообразие // *Материалы VII Международной научной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове»* (Томск, 14–19 сентября 2020 г.). Издательский дом ТГУ, 2020. С. 98–101.
30. Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Магнитная восприимчивость мерзлотных почв лесной катены Центральной Якутии // *Сибирский лесной журнал*. 2021. №2. С. 32– 42. DOI: 10.15372/SJFS20210203.
31. Шепелев В.В. К вопросу о классификации наледей // *Вопросы гидрогеологии криолитозоны*. Якутск, 1975. С. 107–118.
32. Brombierstäudl D., Schmidt S., Nüsser M. Spatial and temporal dynamics of aufeis in the Tso Moriri basin, eastern Ladakh, India // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2023. Vol. 34. Iss. 1. P. 81–93. DOI:10.1002/ppp.2173.
33. Chalov S., Prokopenko K., Magritsky D., Grigoriev V., Fingert E., Habel M., Juhls B., Morgenstern A., Overduin P.P., Kasimov N. Climate change impacts on streamflow, sediment load and carbon fluxes in the Lena river delta // *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 157. 111252. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111252
34. Chesnokova A., Baraër M., Bouchard É. Proglacial icings as records of winter hydrological processes // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. P. 4145–4164. DOI: 10.5194/tc-14-4145-2020
35. Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I. Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in central Yakutia // *Eurasian Soil Science*. 2009. Vol. 42(6). P. 600–608. DOI: 10.1134/S1064229309060039.
36. Crites H., Steve V. Kokelj S.V., Lacelle D. Icings and groundwater conditions in permafrost catchments of northwestern Canada. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. 3283. DOI:10.1038/s41598-020-60322-w 1.
37. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 16. N4. P.436–468. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x
38. Ensom T., Makarieva O., Morse P., Kane D., Alekseev V., Marsh P. (2020). The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2020. Vol. 31. Iss. 3. P. 383–395. DOI:10.1002/ppp.2051.
39. Lacelle D. On the  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and d-excess relations in meteoric precipitation and during equilibrium freezing: theoretical approach and field examples // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. N1. P. 13–25.
40. Lainis A., Neupauer R.M., Koch J.C., Gooseff M. Seasonal and decadal subsurface thaw dynamics of an Aufeis feature investigated through numerical simulations // *Hydrological Processes*. 2024. Vol. 38. Iss. 3. e15106. DOI: 10.1002/hyp.15106.
41. Michel F.A. Isotope characterisation of ground ice in northern Canada // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. N1. P. 3–12.
42. MacDonald A. M., Black A. R., Dochartaigh B. É. Ó , Everest J., Darling W. G., Flett V. D. Peach W. Using stable isotopes and continuous meltwater river monitoring to investigate the hydrology of a rapidly retreating Icelandic outlet glacier // *Annals of*

- Glaciology*. 2016. Vol. 57(72). P. 151–158. DOI: 10.1017/aog.2016.22.
43. Olenchenko V., Zemlianskova A., Makarieva O., Potapov V. Geocryological Structure of a Giant Spring Aufeis Glade at the Anmangynda River (Northeastern Russia) // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. 328. DOI: 10.3390/geosciences13110328.
44. Wohl E., Scamardo J. E. (2022). Aufeis as a major forcing mechanism for channel avulsion and implications of warming climate // *Geophysical Research Letters*. 2022. Vol. 49. e2022GL100246. DOI:10.1029/2022GL100246.
45. Yoshikawa, K., Hinzman L. D., Kane D. L. Spring and aufeis (icing) hydrology in Brooks Range, Alaska // *J. Geophys. Res.*, 2007. Vol. 112. G04S43. DOI: 10.1029/2006JG000294.

## Результаты процедуры 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, результаты изучения морфология наледи, условия ее залегания и распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в нижней ее части в районе южной границы Бестяхской террасы на правом берегу р. Лены в рамках территории двух ключевых участков: ручей Улахан-Тарын и наледь Булуус .

Методология исследования, в статье указаны как анализ параметров измерения образцов, полученных в результате полевых исследований. Наледный лед, изученный на ключевом участке был отобран из вертикального обнажения, вскрытого в результате естественного бокового оттаивания наледного льда при помощи стальной коронки диаметром 5,1 см, приводимой в движение электрической дрелью Bosch. В лабораторных условиях измерения изотопного состава кислорода и водорода льда выполнены на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L 2130-i в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парке Санкт-Петербургского государственного университета. Использованы следующие международные стандарты: V-SMOW-2, GISP, SLAP, USGS-45 и USGS-46.

Из анализа статьи можно сделать вывод об использовании авторами статьи метода анализа полученных данных, их обобщение и построение графиков распределения изотопов в наледи, а также статистические методы исследования с выявлением коэффициента корреляции, распределение значений изотопного состава по вертикали.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в том, что наледи являются одним из наиболее опасных природных явлений. Отрицательное воздействие наледей определяется неожиданным затоплением территории и последующим замерзанием воды, формированием ледяных преград, обледенением подземных сооружений и коммуникаций (шахт, штолен, туннелей, водопропускных и канализационных колодцев), а также обледенением автомобильных и железных дорог, береговых гидротехнических сооружений и др. Получении информации о их распределении является важной составляющей природно-климатических и хозяйственных особенностей холодных регионов, так как снег важен для экологической и климатической систем. В связи с этим необходима регистрация фактических характеристик во времени и в пространстве, т.е. мониторинг режима снегового питания в частности и гидрологического режима в целом в зависимости от условий формирования, депонирования и таяния. Это является важным аспектом понимания геоэкологического механизма гидрологических процессов.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных

исследований при промерзании наледей в закрытой системе может происходить изотопное фракционирование, при послойном процессе роста наледей снизу вверх. Автор отмечает, что фактические значения, полученные в промерзание воды может сопровождаться образованием льда, который тяжелее воды источника, при этом приходит облегчением изотопного состава по кислороду остающейся воды при равновесных условиях, обычно, более быстрое промерзание существенно снижает фракционирование. Это является важным дополнением в развитии понимания динамики водных ресурсов.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим результаты измерения. Статья иллюстрирована визуализированными формами фотографии, графиков и таблиц. Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты и методические рекомендации по статистическому анализу данных.

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:*

Павлов Б.А. Карта почвенного покрова Ольского участка заповедника «Магаданский» (полуостров Кони) //

Арктика и Антарктика. 2024. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.70287 EDN: LLOYEK URL:

[https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=70287](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=70287)

## Карта почвенного покрова Ольского участка заповедника «Магаданский» (полуостров Кони)

Павлов Борис Алексеевич

кандидат биологических наук

Ведущий эколог, АО "Управление перспективных технологий"

111033, Россия, Московская область, г. Москва, ул. Самокатная, 1, стр.2, каб. 21

✉ [borispavlo@yandex.ru](mailto:borispavlo@yandex.ru)



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

### DOI:

10.7256/2453-8922.2024.1.70287

### EDN:

LLOYEK

### Дата направления статьи в редакцию:

29-03-2024

**Аннотация:** Объектом исследования явился не изученный почвенный покров Ольского участка заповедника «Магаданский». С этой целью проведено маршрутное обследование 12 наиболее характерных урочищ участка, доступных для пешего посещения. Составлена почвенная карта, на которой обозначены 9 контуров структур почвенного покрова, среди которых наиболее широко представлены комбинации подбуров охристых с дерново-подбурами иллювиально-железистыми охристыми, сухоторфяно-подзолов охристых с подзолами охристыми и сухоторфяно-литоземами перегнойно-торфяными, а также подзолами охристыми глееватыми. В границах участка выявлены 11 почвенных подтипов, среди которых наиболее распространенными являются почвы альфегумусового и гумусового-аккумулятивного отделов, развивающиеся на дериватах гранитоидов, перекрытых сверху эоловым чехлом вулканического пепла мощностью до 0,25 м. Использовались методы исследований, общепринятые в отечественном почвоведении. В качестве основы картографирования использовались топографическая карта полуострова Кони масштаба 1:100000, а также космические снимки Landsat, представленные в модуле Bing Aerial общедоступной программы QGIS2.10.1. Впервые в

составе почвенного покрова крупной территории суши северного Приохотья выявлено почти сплошное распространение подтипов почв, имеющих наименование "охристые". Их генезис и классификационно-номенклатурное положение связано с влиянием древнего камчатского вулканизма, с возникновением на поверхности довольно мощного чехла из пепла реолитового состава, белого цвета. Последний под влиянием поверхностной эрозии и суффозии стал проникать в подстилающие почвенные горизонты и горные породы, и, сразу после зарастания растительностью сформировал всей своей мощью подзолистый горизонт, кардинально изменив текущий характер почвообразования. Полученные результаты могут быть использованы в природоохранных целях для пополнения сведений о компонентах окружающей среды одного из слабо изученных участков особо охраняемых природных территорий Севера Дальнего Востока, а также в отечественном почвоведении для уточнения генетических особенностей влияния камчатского вулканизма на почвенный покров суши обширного приокеанического региона Тихого океана.

**Ключевые слова:**

почвенный покров, охристые подтипы почв, древний камчатский вулканизм, почвоведение, участок, почвенная карта, окружающая среда, природные территории, структура почвенного покрова, почва

**ВЕДЕНИЕ**

Достоверные сведения о почвах и почвенном покрове Ольского участка заповедника «Магаданский» до настоящего сообщения полностью отсутствовали и носили предположительный характер, в силу его трудной доступности, с одной стороны, и хорошей изученности почвенного покрова Примагаданского сектора северного побережья Охотского моря [\[2\]](#), [\[10\]](#), [\[11\]](#), [\[12\]](#), [\[13\]](#), [\[16\]](#), [\[18\]](#), [\[19\]](#), [\[20\]](#), [\[21\]](#), [\[22\]](#), [\[23\]](#), [\[24\]](#), [\[25\]](#), [\[26\]](#), [\[29\]](#), [\[36\]](#). В связи с этим, на почвенной карте Магаданской области в границах данного участка обозначены четыре контура почв: подзолы иллювиально-многогумусовые сухоторфянистые сухомерзлотные, подбуры тундровые (без разделения), подзолы иллювиально-гумусовые и железисто-гумусовые без разделения сухомерзлотные, примитивные щебнистые [\[33\]](#). Присутствие пеплового материала в перечисленных почвах на карте не отмечено.

**МЕТОДЫ**

В качестве методологической основы диагностики и номенклатуры почв, а также картографирования почвенного покрова участка Ольский заповедника «Магаданский» использованы современные отечественные учения о диагностике и классификации почв, а также об их структурно-пространственной организации [\[35\]](#), [\[37\]](#), [\[38\]](#).

В основу картографического моделирования положены общедоступная топографическая карта полуострова Кони масштаба 1:100000, а также полевые и камеральные материалы морфологических описаний рельефа и микрорельефа, растительных сообществ и их видового состава, структурной организации контуров почвенного покрова и отдельных генетических профилей подтипов почв.

Объектами (единицами) картографирования явились гомогенные контуры ландшафтных районов, растительных сообществ и подтипов почв образующих между собой почвенные

мезокомбинации — структуры почвенного покрова (СПП). Последние обозначены на карте формулами, состоящими из условных буквенных обозначений подтипов почв, соединенных математическими символами в последовательном порядке убывания занимаемой. Принято, что первый компонент в формуле СПП занимает ориентировочно 60–70 % площади контура СПП. Последующие компоненты — 20 и 10%, что позволяет производить итоговый расчет площадей, занимаемых подтипами почв в границах участка картографирования.

## ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

### *Геология, рельеф и почвообразующие породы*

Ольский участок заповедника Магаданский располагается в границах горного поднятия полуострова Кони Кони Тайгоносской горной системы [31]. Этот массив выполнен в основном среднегорными денудационно-тектоническими мезозойскими складками (60 %) и отдельными, раннемеловыми интрузиями (40 %). Мезозойские складки полуострова слагают нижне- и средне-юрские терригенные мелкозернистые алевролиты, гравелиты, песчаники и аргиллиты туфы андезитов и дацитов [6]; [7]. Интрузивные образования слагают к северный и южный макросклоны полуострова, а также локально выпирают из массива мезозойских складок в виде отдельных скальных обнажений. Они представлены крепкими, высоко устойчивыми к выветриванию нижнемеловыми интрузиями гранодиоритов, диоритов и кварцевых монзонитов, в том числе, туфами андезитов, песчаников и конгломератов аптского яруса.

По всей водораздельной оси полуострова выражены снежники в нивальных ложбинах и древних ледниковых карах и трогах с глетчерами, кончно-моренными валами крупнообломочного материала, короткими водно — ледниковыми зандрами с небольшими ледниковыми озерами, бурными истоками горных рек и водопадами. Перечисленные геоморфологические формы придают альпинотипный облик всему высокогорному ярусу полуострова, в особенности его осевому горному хребту с максимальными абсолютными отметками до 1550 м (г. Угрюмая — 13161,1 м, г. Скалистая — 1549,7 м и др.). Углы естественных откосов горных сооружений полуострова составляют — 32-35°, общая глубина вреза эрозионной сети — 440-500 м. Последняя имеет густоту 0,6, суммарную протяженность — 619 км, осредненную извилистость — 1,2, и образована 5 реками 2-3 порядка (по Р.Е. Хортону [39]), а также 12 горными ручьями 1-2 порядка. Данным водотокам свойственны преимущественно снеговое питание из высокогорных снежников и небольших ледниковых озер, буйный горный характер, узкие V-образные долины с водопадами, отсутствие аллювиальных террас наличие узких прирусловых пойм. Коэффициент озерности всей территории Ольского участка едва достигает 0,001.

Почвообразующими породами на полуострове являются в основном почвенно-пирокластический поверхностный слой тонкопесчаного вулканического пепла риолитового состава мощностью до 0,15 м и подстилающие его продукты современного выветривания материнских массивно-кристаллических пород: элювии, коллювии, пролювии, делювии мощностью от 2-3 до 10-15 м. Первый слой залегает плащеобразно под органогенными почвенными горизонтами, а также присутствует в виде объемных скоплений и примеси в нижележащих рыхлых толщах [5]; [17]; [32]. В силу гравитации, эти толщи сползают по склонам с разной скоростью, в зависимости от уклонов местности, колебаний гидротермического режима, разнообразия пертографического и гранулометрического состава, образуя различные формы микрорельефа. Так, на крутых



горных и морских береговых обрывов под влиянием процессов физического выветривания и гравитации повсеместно формируются осыпные и селевые пролювиально-коллювиальные конусы выноса рыхлого крупнообломочного материала размером от 1,0 м, в зависимости от высоты обрывов. На более пологих горных склонах происходят замедленные крип и солифлюкция элювиально-делювиальных каменно-мелкоземистых масс с формированием пологих гряд, бугров и террас размерностью от 0,5-1,0 до 10 и более метров, аккумулирующихся в нижних частях склонов в делювиальные шлейфы протяженностью до нескольких сотен метров и мощностью до 10–15 м. В свою очередь, одновременно с крипом и солифлюкцией поверхности шлейфов подвергаются плоскостной и линейной эрозии с формированием струйчатых форм микрорельефа в виде разветвленных, извилистых и спрямленных лощин стока (деллей) шириной до 5-10 м, глубиной 1-2 м и протяженностью до нескольких сотен метров.

Следует особо отметить, что частицы вулканического пепла совсем не наблюдаются или, все же присутствуют в незначительных количествах на поверхности и деятельных толщах активно-подвижных, непокрытых лесной растительностью, высоко скважных элювиев, коллювиев и аллювиев, в результате смыва атмосферными осадками и партлювации в подстилающие горизонты. При этом они активно вовлекаются в потоки сезонной верховодки, образуя редкие очаговые скопления в почвенных пустотах и трещинах, а также на дневной поверхности, в местах их выклинивания на поверхность в виде родников.

Кроме перечисленных, в низовьях местных водотоков аккумулируются аллювиальные отложения валунно-галечного состава с примесью гравия и песка мощностью до 5-10 м в виде прирусловых, пойменных и дельтовых фаций шириной до 100 м.

Наряду с последними, в границах почти сплошной обрывистой береговой полосы, обрамляющей полуостров со всех сторон, аккумулируются прибрежно-морские отложения в виде прибойных кос и пляжей галечно-валунного состава с примесью гравия и песка шириной до 100 м и мощностью до 10 м. В прибрежных полосах мелководных эстуариев местных рек Хиндя, Бургали, Антара, Комар, Краб формируются приловно-отливные пляжи шириной до 200 м галечно-песчаного состава с прослоями гравия, ила и оторфованных морских водолослей общей мощностью до 5 м.

Перечисленные поверхностные трансформации материнских горных пород в почвообразующие существенно преобразуют их изначальный физический и химико-минеральный состав. В связи с этим на полуострове широко распространены полигенетичная генерация мелкоземисто-каменистых рыхлых почвообразующих пород, характеризующаяся преимущественно кислым и среднекислым силикатным составом. При этом в повышении их кислотности и мелкоземистости существенную роль играет, как отмечено выше, повсеместное распространение эоловых наносов вулканического пепла кислого (реолитового) состава.

Многолетняя мерзлота в границах Ольского участка заповедника «Магаданский» обнаруживается на локальных участках крутых коренных склонов северной экспозиции приморской полосы горного массива Кони под густыми зеленомошно-сфагновыми кедровыми стланиками и мощными торфяными горизонтами, ориентировочно на глубине до 0,5 от дневной поверхности в виде сильнольдистых линз коллювиально-пролювиальных отложений, а также — на субгоризонтальных поверхностях нивальных террас и ледниковых каров, занятых альпийскими лугами на глубине от 0,5 до 1,0 м от дневной поверхности, в виде линз мерзлых, водоупорных гравелисто-мелкоземистых пролювиально-делювиальных отложений. Эти факты соответствуют схеме С.А.

Замолотчикова (1989), согласно которой многолетнемерзлые породы на приохотоморской суше образуют зону островного, прерывистого их распространения с температурой от минус 1 до минус 11<sup>o</sup>C мощностью от 100 до 700 м [8]. Данная зона с северной стороны полуострова Кони, вероятно, имеет ориентировочную ширину в 10 км от уреза морских вод. С южной стороны — ее ширина, под влиянием экспозиционного эффекта существенно редуцируется, ориентировочно до 3-5 км [9]. В границах осевого альпинотипного горного массива полуострова Кони, в силу суровых климатических условий, многолетняя мерзлота повсеместно присутствует в «сухом виде», ориентировочно, на глубине от 1,0 м от дневной поверхности.

#### *Климат*

В соответствии с региональным климатическим районированием территория Ольского участка заповедника «Магаданский» расположена в зоне климата тундры и лесотундры в пределах леса с большой суровостью погоды, для которой в целом свойственны избыточное увлажнение, холодное лето, морозная снежная зима при средней температуре января выше минус 32<sup>o</sup>C [14]. По многолетним данным ближайших метеостанций (ГМС г. Магадан и ГМС о. Завьялова) для полуострова Кони характерны следующие параметры метеорологических показателей: средняя годовая температура воздуха от минус 2,9 до минус 3,5<sup>o</sup>C; средняя годовая скорость ветра от 5,0 до 6,3 м/с; средняя годовая относительная влажность воздуха от 72 до 80 %, среднегодовое количество осадков от 526 до 647 мм; высота снежного покрова от 12 до 32 см [27]. При этом обращает на себя внимание общий рост индекса суровости климата (Будмана) в островных условиях (ГМС о. Завьялова) относительно береговых (ГМС г. Магадан) с 2,7 до 3,8 баллов за счет усиления скоростей ветра. Легко предположить, что столь же высокий балл жесткости климатических условий характерен и для полуострова Кони, особенно для его осевого альпинотипного водораздела. Об этом же свидетельствуют полное отсутствие в границах участка лиственницы и абсолютное доминирование густых зарослей кедрового стланика, спасающегося в холодный период повышенной суровости под снегом и образующего, таким образом, высотный пояс специализированной таежной растительности [1], [15], [28].

#### *Ландшафтная организация*

Территория Ольского участка заповедника «Магаданский» находится в условиях подзоны прибрежных террасово-холмистых и холмисто-увалистых тундролесий кочкарников Магаданской провинции приморских тундролесий [30]. В ее границах подавляющую площадь (66%) занимает ландшафтный округ горных и горно-долинных тундролесий (кедровых стлаников), расположенный в пределах среднего высотного уровня (от 300-800 м н.у.м.) (см. рис. 1). Его внешний аспект представлен густыми зарослями кедрового стланика.

Существенная доля участка (23 %) приходится на ландшафтный округ горных пустынь и тундр, имеющий яркий альпинотипный облик и расположенный в диапазоне абсолютных высот от 800 до 1550 м.

Существенно меньшая доля участка (9 %) принадлежит ландшафтному округу нагорно-террасово-холмистых тундролесий, спорадически встречающихся в виде округлых и овальных пятен в диапазоне абсолютных высот от 300 до 600 м и представленных разнообразными урочищами заболоченных кочкарников (тундр), альпийских лугов, каменноберезняков и участков травяного самозарастивания лесных гарей.

Еще менее значимые, но равнозначные доли (по 3 %) территории Ольского участка принадлежат ландшафтным районам долинно-речных тундролесий и лесов, маршевых и абразионно-береговых тундролесий, лугов, пляжей, осыпей и обрывов. Первые представлены в основном галечно-валунными пляжами, лесными, ивняковыми и луговыми пойменными урочищами днищ речных долин. Вторые — морскими галечно-валунными террасами и песчано-галечными пляжами, осыпями и скальными обрывами без растительности.

### Растительность

В геоботаническом отношении Ольский участок заповедника «Магаданский» входит в состав горной области кедровых стлаников и лиственнично-березовых лесов Охотского побережья [34]. В его границах ранее были выделены 6 растительных сообществ: эпилитно-лишайниковые горные пустыни; мохово-лишайниковые осоково-пушицевые тундры; осоково-пушицевые кедровые стланики; кустарничковые кедровые стланики; моховые кедровые стланики; рощи каменной березы; осоково-пушицевые кедровые стланики; злаково-разнотравные ивняковые заросли; кустарниковые травяно тополево-чозениевые леса; комплексы растительности на разных стадиях послепожарных восстановительных сукцессий [4]. Проведенные исследования почвенного покрова позволяют существенно расширить этот список до следующих 16 сообществ, уточнить их доминантный флористический состав и номенклатуру: эпилитно-лишайниковые каменистые горные пустыни (8 %); каменисто-лишайниковые горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками (3 %); каменисто-кустарничковые (дриадовые) горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками (2 %); каменисто-кустарничковые (аркоусовые) горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками (2 %); рощи каменной березы (3 %); кедровые стланики кустарничково-мертвопокровные (15 %); кедровые стланики травяные кустарничково-моховые по старым гарям (10 %); кедровые стланики кустарничково-моховые (25 %); кедровые стланики зеленомошно-сфагновые (13 %); нивальные ивняково-разнотравные луга (3 %); закоккаренные осоково-пушицевые тундры (1 %); пирогенные иванчаево-вейниковые синузии (2 %); кустарниковые травяные тополево-чозениевые леса (1 %); разнотравно-злаковые ивняки (0, 5 %); злаковые ольховники; разнотравно-вейниковые луга (1 %). Наиболее распространенными среди них являются сообщества кедровых стлаников, занимающих 63 % территории Ольского участка. Распространение остальных сообществ носит фрагментарный характер, обусловленный преимущественно местными особенностями генезиса альпинотипных и эрозионных форм микрорельефа, наличием экспозиционных эффектов и редкими лесными пожарами.

Кедровые стланики кустарничково-мертвопокровные приурочены к привершинным частям пологих склонов и сглаженным перегибам водоразделов, сложенным коллювиально-делювиальными гравелисто-щебнистыми отложениями с маломощным чехлом тонкопесчаного вулканического пепла. В составе растительности абсолютно доминирует *Pinus pumila* (Pall.) с отдельными куртинами *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L. (рис. 1)



**Рис. 1.** Кедровый стланник кустарничково-мертвопокровный в привершинной части пологого склона в районе мыса Плоский

Кедровые стланики травяные кустарничково-моховые по старым гарям формируются в виде обрывистых волнистых полос и фистончатых пятен в геоморфологических условиях, аналогичных сообществу, охарактеризованному выше, и, как результат прохождения по нему давнего слабого низового пожара, частично уничтожившего хвойную лесную подстилку. Их главной отличительной особенностью является активное участие в составе травяного послепожарного сообщества таких содоминантов как: *Calamagrostis langsдорffii* (Link) Trin) и *Chamaenerion angustifolium* (L.), а также *Polytrichum commune* Hedw в соседстве с кустиками *Sorbus sambuecifolia* (Cham. Et Schlecht.) M. Roem и *Spiraea beauverdiana* Schneid.

Кедровые стланики кустарничково-моховые представляют собой зрелые сообщества, формирующиеся на пологих склонах цокольных террас, перекрытых делювиальными шлейфами с тонким поверхностным чехлом вулканического пепла, в составе абсолютного доминанта — *Pinus pumila* (Pall.) Regel. с участием: *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud., *Betula middendorffii* Trautv. et C.A.Mey, *Vaccinium uliginosum* (L.), *Rhododendron aureum* Georgi), *Salix fuscescens* Anderss. и примесью: *Empetrum nigrum* L., *Rubus chamaemorus* (L.), *Spiraea beauverdiana* Schneid, а также очень редких трав: *Calamagrostis langsдорffii* (Link) Trin; *Carex soczavaeana* Gorodk.; *Aconogonon tripterocarpum* (A.Gray) Hara; *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.; *Hamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn; *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop с примесью: *Equisetum sylvaticum* L.; *Aconogonon tripterocarpum* (A.Gray) Hara; *Artemisia arcticf* Less. В напочвенном покрове доминирует *Polytrichum commune* Hedw. с примесью *Sphagnum* spp. L. и *Cetraria nivalis* (L.) Ach. (рис. 2).





**Рис. 2.** Кедровый стланик кустарничково-моховой на пологом склоне к мысу Плоский (фото Н. Сазановой)

Кедровые стланики зеленомошно-сфагновые занимают наиболее крутые ( $32-35^{\circ}$ ) коренные горные склоны и склоны нагорных террас северных экспозиций, сложенные коллювиально-делювиальными отложениями без признаков присутствия вулканического пепла, как правило мерзлыми на небольшой глубине от дневной поверхности (до 0,5 м). Данные растительные сообщества являются климаксовыми (рис. 3).



**Рис. 3.** Кедровый стланик зеленомошно-сфагновый на крутом участке горного склона к мысу Плоский

В их древостоях по-прежнему доминирует *Pinus pumila* (Pall.). Напочвенные кустарничково-моховые покровы преимущественно представлены: *Sphagnum* spp. L. с примесью: *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.; *Dicranum scoparium* Hedw.; *Nardia scalaris* (Sclirad.) S. F. Gray.; *Thamnia vermicularis* Sw.; *Peltigera aphthosa* (L.) Willd

*Schaer.*; *Cetraria nivalis* (L.) Ach.; а также: *Ledum palustre* L.; *Betula exilis* Suckczew; *Vaccinium vitis-idaea* L.; и редкими: *Rubus chamaevorus* L.; *Arctostaphylos alpina* (L.) Spreng; *Equisetum sylvaticum* L. и др.

Эпилитно-лишайниковые каменистые горные пустыни занимают самые высокие позиции рельефа. В контурах последних плотность лишайниковых покровов достигает ориентировочно 30 %. В их составе доминируют: *Rhizocarpon geographicum* (L.), DC.; *Gasparrinia elegans* (Link.) Stein; *Licidea soreidza* Nyl.; *Parmelia saxatilis* (L.) Ach.; в примеси распространены: *Haematomma ventosum* (L.) Massal.; *Pertusaria amara* (Ach.) Nyl.; *Gyrophora proboscidea* (L.) Ach. и *Gyrophora arctica* Ach.; *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach.; *Cladonia rangiferina* (L.) Web.; *Stereocaulon paschale* (L.) Hoffm.; *Usnea longissima* Ach.; *Thamnolia vermicularis* (L.) Ach. и др.

Каменисто-лишайниковые горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками располагаются в целом на несколько метров ниже эпилитно-лишайниковых каменистых горных пустынь, как правило на выровненных горных микроплато и в седловинах с выпирающими интрузивными кекурами, с фрагментарными покровами вулканического пепла, истонченными до 3-5 см (рис. 4). Проективное покрытие куртин лишайников, кустарничков и прижатых к земле кустов кедрового стланика составляет около 50 %. В составе их растительного покрова доминируют: *Thamnolia vermicularis* (Sw.); *Peltigera aphthosa* (L.) Willd Schaer.; *Cetraria nivalis* (L.) Ach.; *Stereocaulon paschale* (L.) Hoffm.; *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach.; *Cetraria nivalas* (L.) Ach.; *Cetraria islandica* (L.) Ach.; *Cladonia alpestris* (L.) Rabh.; *Cladonia rangiferina* (L.) Web.; *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.; *Hylacomium splendens* (Hedw.) B.S.G.; *Dicranum elongatum* Schleich. и др. Под прижатыми ветками *Pinus pumila* (Pall.) доминируют: *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud.; *Vaccinium uliginosum* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.; с участием: *Thymus serpyllum* L.; *Juniperus communis* L.



**Рис. 4.** Каменисто-лишайниковая горная тундра с распростертыми кедровыми стланиками в привершинной части сопки 909, 2 м, 5 км юго-юго-западнее мыса Плоский.

Каменисто-кустарничковые (дриадовые) горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками занимают также хорошо обдуваемые, выположенные поверхности нагорных террас с курумниками, частично заполненными пролювиально-делювиальными отложениями и фрагментарно покрытыми истонченными чехлами вулканического пепла.



В них на открытых каменистых участках абсолютно доминирует *Dryas ajanennensis* Juz. subsp. *ochotensis* Jurtz., встречаются куртинки *Salix arcticf* Pall. с примесью *Salix sphenofylla* A. Skvorts и вкраплениями: *Hedysarum hedysaroides* (L.) Schinz et Thell.; *Rhododendron lapponicum* (L.) Wahlenb. (рис. 5). В куртинках лишайников между камнями преимущественно произрастают: *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach.; *Cetraria nivalas* (L.) Ach.; *Cetraria islandica* (L.) Ach.; *Cladonia alpestris* (L.) Rabh.; *Cladonia rangiferina* L. с вкраплениями: *Stereocaulon paschale* (L.) (Hoffm.) Web.; *Thamnolia vermicularis* (Sw.); *Peltigera aphthosa* (L.) Willd Schaer. и др. (рис. 5). Состав растительности под кронами распростертых кустов кедрового стланика аналогичен охарактеризованному в предыдущем абзаце.



**Рис. 5.** Каменисто-кустарничковая (дриадовая) горная тундра с распростертыми кедровыми стланиками на мысе Алевина (фото Н. Сазановой)

Каменисто-кустарничковые (арктоусовых) горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками формируются пососедству с «дриадовыми горными тундрами». В их составе абсолютно доминирует *Arctous alpine* L. с обязательным присутствием обширных куртин *Salix magadansis* Nedoluzko с примесью *Salix fuscencens* Anderss. и уплотненных куртин: *Hierochloe alpine* (Sw.ex Willd.) Reem Schinz. Schult.; *Artemisia arctica* Less.; *Valeriana capitata* Pall. Ex Link; *Oxiria diguna* (L.) Hill; *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv. с присутствием лишайниковых куртинок на каменистых участках и на камнях из: *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach.; *Cetraria nivalas* (L.) Ach.; *Cetraria islandica* (L.) Ach.; *Cladonia alpestris* (L.) Rabh.; *Cladonia rangiferina* L. с вкраплениями: *Stereocaulon paschale* (L.) (Hoffm.) Web.; *Thamnolia vermicularis* (Sw.); *Peltigera aphthosa* (L.) Willd Schaer.; *Rhizocarpon geographicum* (L.), DC.; *Licidea solediza* Nyl.; *Parmelia saxatilis* (L.) Ach.; *Usnea longissima* Ach. и др. (рис. 6). Под распростертыми кустами кедрового стланика растительность аналогична охарактеризованной выше.





**Рис. 6.** Каменисто-кустарничковая (арктоусовая) горная тундра с распростертыми кедровыми стланиками на мысе Скалистый (фото Н. Сазановой)

Рощи каменной березы встречаются среди кедровых стлаников на крутых транзитных частях склонов, как правило южных экспозиций, сложенных коллювиально-делювиальными каменистыми гравелисто-щебнистыми отложениями с маломощными чехлами тонкопесчаного вулканического пепла. Их видовой состав не богат, представлен доминирующей *Betula lanata* (Regel) V. Vassil. примесью раскидистых кустов: *Pinus pumila* (Pall.); *Sorbus sambuecifolia* (Cham. Et Schlecht.); *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar; *Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz. Под их пологом, в изреженном травяном ярусе присутствуют: *Calamagrostis langsdoorfii* (Link) Trin.; *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt; *Dyopteris fragrans* (L.) Schott) и *Polytrichum commune* Hedw. (рис. 7).



**Рис. 7.** Роща каменной березы вейниково-мертвопокровная на крутом склоне ледниково кара на левобережье р. Хинджа, в 4,2 км юго-западнее мыса Плоский (фото Н. Сазановой)

Нивальные ивнячково-разнотравные луга приуроченные к субгоризонтальным поверхностям криопланационных террас и ниш, днищам трогов и цирков, заполненных слоистыми коллювиально-делювиальными суглинками с песчано-гравелистыми и щебнистыми включениями, а также обильной примесью тонких частиц вулканического пепла. В их составе доминируют: *Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin; *Comarum palustre* L.; *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn.; *Carex soczavaeana* Gorodk.; *Valeriana capitata* Pall.Ex Link.; *Veratrum oxysepalum* Turcz.; *Claytonia sarmentosa* C. A. Mey.; присутствуют: *Aconitum ajanense* Steinb; *Aconitum lycoctonum* L.; *Aconogonon tripterocarpum* (A.Gray) Hara; *Geranium erianthum* DC; *Anemone debilis* Fisch. ex Turcz.; *Anemone dichotoma* L.; *Ranunculus pygmaeus* Wahlenb.; *Iris setosa* Pall. ex (Link); *Plemonium cferuleum* L.; *Bistorta elliptica* (Willd. ex Spreng.) Kom.; *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn.; *Solitago virgaurea* L.; *Gentiana glauca* Pall.; *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab.; с примесью: *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt; *Maianthemum dilatatum* (Wood) Nels. et Macbr; *Iris setosa* Pall. ex Link; *Claytonia sarmentosa* C. A. Mey; *Anemone dichotoma* (L.); *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald; *Sphagnum* spp. L.; *Polytrichum commune* Hedw; а также — сеянцев: *Pinus pumila* (Pall.); *Rhododendron aureum* Georgi; *Salix sphenophylla* A. Skvorts; *Salix magadanensis* Nedoluzhko; *Rhododendron camtschaticum* Pall.; *Spiraea beauverdiana* Schneid.; *Potentilla fragiformis* Willd. ex Schlecht., с небольшим распространением на осушках *Polytrichum commune* Hedw. и *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid (рис. 8).



**Рис. 8.** Нивальный ивнячково-разнотравный луг в верховьях руч. Одинокий, в 4 км южнее мыса Скалистый

Пирогенные иванчаево-вейниковых сукцессии развиваются на месте выгоревших сообществ кедровых стлаников. В их составе, среди обгорелых береломов из сухостойных веток кедрового стланика, пирогенных курумников, в течение нескольких лет после пожара развиваются моnodоминантные рыхлые куртины *Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin и *Chamaenerion angustifolium* (L.) с примесью: *Senecio pseudoarnica* Less.; *Tussilago frigida* L.; *Marchantia pjlimorfa* L.; а также возобновляющихся побегов: *Betula exilis* Suckczev; *Pinus pumila* (Pall.); *Ledum*



*decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud.; *Salix glauca* L.; *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar (рис. 9).



**Рис. 9.** Пирогенная иванчаево-вейниковая сукцессия на выгоревшем участке кедровостланиковой заросли на плоском водоразделе между ручьями Переменный и Кустарниковый

Закопчаренные осоково-пушицевые тундры приурочены к пологим слабо дренированным аккумулятивным поверхностям делювиальных шлейфов и нагорных террас, сложенных щебнисто-суглинистыми пролювиально-делювиальными отложениями с диффузными включениями и тонкими прослойками скоплений частиц вулканического пепла. Данные растительные сообщества представлены преимущественно следующими доминантами: *Eriophorum vaginatum* L.; *Carex globularis* L.; *Carex pallida* C.F. Mey; *Carex soczavaeana* Gorodk; *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe; *Polytrichum commune* Hedw.; *Sphagnum* spp. L.; *Cetraria nivalis* (L.) Ach. с редкой примесью угнетенных распростертых биоморф *Pinus pumila* (Pall.) Regel., редких кустиков и куртин *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud.; *Betula exilis* Suckczew; *Salix fuscescens* Anderss.; *Vaccinium uliginosum* L.; *Empetrum nigrum* L.; *Rubus chamaemorus* L. и сплошных моховых покровов из сплошных куртин: *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.; *Dicranum elongatum* Schleich.; *Drepanocladus uncinatus* (Hedw.) Warnst; *Hylacomium splendens* (Hedw.) B.S.G.; *Polytrichum commune* Hedw.; *Sphagnum* sp. L. (рис. 10).



**Рис. 10.** Закочкаренная осоково-пушицевая тундра на высокой террасе р. Бургали (фото Н. Сазановой)

Кустарниковые травяные тополево-чозениевые леса формируются на старопойменных участках местных наиболее крупных водотоков и представляют собой наиболее продуктивные климаксовые растительные сообщества, состоящие из следующих доминантов: *Populus suaveolens* Fisch; *Chozenia arbutifolia* (Pall.) A. Skvortz; *Salix udensis* Trautv. et C. A. Mey.; *Salix schwerinii* E.Wolf; *Salix krylovii* E.Wolf; *Salix pseudopentandra* (B. Floder.), с редким участием: *Salix magadansis* Nedoluzhko, *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar.; *Spiraea beauverdiana* Schneid; *Betula platyphylla* Sukacz.; *Pinus pumila* L.; *Rubus idaeus* L.; *Sorbaria sorbifolia* L.; *Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz.; *Ribes triste* Pall; *Rosa acicularis* Lindl.; *Lonicera caerulea* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.; *Vaccinium uliginosum* L.; разреженного травяного покрова из: *Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.; *Arctagrostis arundinacea* (Trin.) Bead.; *Calamagrostis lapponica* (Wahl) C. Hartm.; при участии: *Polygonum tripterocarpum* A. Gray; *Chamaerion latifolium* (L.) Holub; *Iris setosa* Pallas ex Link.; *Artemisia borealis* Pall.; *Critesion jubatum* L.; *Solidago virgáurea* L.; *Urtica angustifolia* Fisch. ex Hormen.; *Linnaea borealis* L.; зеленых мхов: *Dicranum elongatum* Schleich; *Hylacomium splendens* (Hedw.) B.S.G.; *Polytrichum commune* Hedw. (рис. 11).





**Рис. 11.** Кустарниковые травяные тополево-чозениевые леса в пойме р. Бургали (фото Н. Сазановой)

Разнотравно-злаковые ивняки приурочены к осушенным участкам прирусловых и средних пойм местных водотоков, испытывающие ежегодные смены паводкового режима. В результате их поверхности зарастают рыхлыми нестабильными группами пионерных видов растений: *Salix schwerinii* E. Wolf; *Salix udensis* L.; *Salix pseudopentandra* (B. Floder.); *Salix krylovii* E. Wolf; с редким участием *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar. и *Spiraea beauverdiana* Schneid; сплошного, но разреженного травяного покрова из *Calamagrostis langsdoeffii* (Link) Trin., *Ptarmica camtschatica* (Rupr. Ex Heimerl) Kom. при участии: *Solidago virgaurea* L., *Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem., *Linnaea borealis* L. (рис. 12).



**Рис. 12.** Разнотравно-злаковый ивняк на средней пойме р. Бургали (фото Н. Сазановой)

Злаковые ольховники приурочены к сухим участкам средних пойм, вышедшим из пойменного режима. Здесь формируются более устойчивые местами загущенные зарастания ольхой кустарниковой — *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar.) с редким



участием: *Rubus idaeus* L.; *Sorbaria sorbifolia* L.; *Ribes triste* Pall., а также разреженными напочвенным покровом, состоящим преимущественно из *Calamagrostis langsдорffii* (Link) Trin. (рис. 13).



**Рис. 13.** Злаковый ольховниковник на средней пойме р. Бургали (фото Н. Сазановой)

Разнотравно-вейниковые луга формируются на подтопляемых паводковыми водами участках низких пойм и приморских террас. В основном в составе лугов доминирует *Calamagrostis langsдорffii* (Link) Trin.; участвуют в разной степени, иногда образуя уплотненные синузии: *Chamaenerion angustifolium* (L.); *Ranunculus pygmaeus* Wahlenb.; *Arctanthemum arcticum* (L.) Tzvel.; *Tanacetum boreale* Fisch. ex DC.; *Chorisis repens* (L.) DC; *Leucanthemum ircutisnum* DC; *Geranium erianthum* DC; *Senecio pseudoarnica* Less.; *Leymus mollis* (Trin.) Pilg., а также - *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar (рис. 14).



**Рис. 14.** Разнотравно-вейниковый луг на приморской косе мыса Таран (фото Н. Сазановой)

Почвы Ольского участка заповедника «Магаданский» в таксономическом отношении представлены 2 стволами, 6 отделами, 10 типами, 11 подтипами, 10 видами и 3 разновидностями (табл. 1).

Таблица 1. Список картографируемых таксономических единиц почвенного покрова

| Отдел                          | Тип   | Подтип                        | Род               | Вид                                      | Разновидность   |
|--------------------------------|---|-------------------------------|-------------------|--|---|
| Ствол: синлитогенные почвы     |   |                               |                   |  |   |
| Аллюви-<br>альные              | Аллювиаль-<br>ные<br>серогумусо-<br>вые<br>(дерновые) | Глеева-<br>тые                | Ненасы-<br>щенные | Крайне<br>мелкие                         | Песчано-<br>гравелистые<br>галечно-<br>валунистые           |
|                                |   |                               |                   | Мелкие                                   | Песчано-<br>гравелистые<br>галечно-<br>валунистые           |
| Ствол: постлитогенные почвы    |   |                               |                   |  |   |
| Литоземы                       | Сухоторфя-<br>но-литозе-<br>мы                        | Типич-<br>ные                 | Ненасы-<br>щенные | Торфяные                                 | Гравелисто-<br>скелетные                                    |
|                                |   | Перегно-<br>йно-тор-<br>фяные | Ненасы-<br>щенные | Торфянис-<br>тые                         | Гравелисто-<br>скелетные                                    |
| Слабо-<br>развитые             | Пелоземы<br>гумусовые                                 | Типич-<br>ные                 | Ненасы-<br>щенные | Очень<br>слабо-<br>гумусиро-<br>ванные   | Супесчано-<br>легкосуглинис-<br>тые<br>среднескелет-<br>ные |
| Органо-<br>аккумуля-<br>тивные | Серогумусо-<br>вые (дерно-<br>вые)                    | Охрис-<br>то-глее-<br>ватые   | Ненасы-<br>щенные | Профиль-<br>но-<br>оглеен-<br>ные        | Супесчано-<br>легкосуглинис-<br>тые средне-<br>скелетные    |
|                                |   |                               | Ненасы-<br>щенные | Поверх-<br>ностно-<br>оглеен-<br>ные     | Супесчано-<br>легкосуглинис-<br>тые средне-<br>скелетные    |
| Крио-мета-<br>морфи-<br>ческие | Криоземы  | Глеева-<br>тые                | Ненасы-<br>щенные | Глубоко-<br>оглеен-<br>ные               | Супесчано-<br>легкосуглинис-<br>тые средне-<br>скелетные    |
| Альфе-<br>гумусовые            | Подбуры   | Охрис-<br>тые                 | Ненасы-<br>щенные | Иллюви-<br>ально-<br>многогу-<br>мусовые | Супесчано-<br>легкосуглинис-<br>тые средне-<br>скелетные    |
|                                | Сухоторфя-<br>но-подбуры                              | Охрис-<br>тые                 | Ненасы-<br>щенные | Иллюви-<br>ально-<br>многогу-<br>мусовые | Супесчано-<br>легкоглинис-<br>тые сильно-<br>скелетные      |

Продолжение тал. 1.



| Отдел           | Тип                 | Подтип               | Род          | Вид                        | Разновидность                              |
|-----------------|---------------------|----------------------|--------------|----------------------------|--|
| Альфе-гумусовые | Дерново-подбуры     | Оподзоленно-охристые | Ненасыщенные | Иллювиально-многогумусовые | Супесчано-легкосуглинистые среднескелетные |
|                 | Подзолы             | Охристые             | Ненасыщенные | Мелкоосветленные           | Супесчано-легкосуглинистые среднескелетные |
|                 | Сухоторфяно-подзолы | Охристые             | Ненасыщенные | Мелкоосветленные           | Супесчано-легкосуглинистые среднескелетные |

Почвенный покров Ольского участка представлен в основном подтипами почв альфегумусового отделов постлитогенного ствола. Подтипы других отделов являются редкими вкраплениями общую структуру его организации. В порядке снижения доли участия в границах площади картографирования присутствуют следующие подтипы почв, %:

- подбуры охристые — 26;
- дерново-подбуры оподзоленно-охристые — 14;
- сухоторфяно-подзолы охристые — 13;
- подзолы охристые — 8;
- сухоторфяно-литоземы типичные — 4;
- сухоторфяно-литоземы перегнойно-торфяные — 4;
- сухоторфяно-подбуры охристые — 3;
- серогумусовые (дерновые) охристо-глееватые — 3;
- аллювиальные серогумусовые (дерновые) глееватые — 2;
- криоземы глееватые — 1;
- пелоземы гумусовые типичные — 1.


Подбуры охристые формируются под кедровыми стланиками кустарничково-мертвопокровными (см. рис. 1) на пологих склонах и шлейфах, сложенных каменисто-гравелисто-щебнистыми коллювиально-делювиальными отложениями, перекрытыми сверху маломощным чехлом тонкопесчаного вулканического пепла (рис. 15).

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|---|---|---|
|  | О,<br>0–10  | Лесная подстилка из хвои кедрового стланика, пронизанная отдельными побегами брусники, сухой сверху, почерневший снизу.   |
|   | BFan,<br>10–25                                      | Охристо-бурый, супесчано-суглинистый с обильным крупным щебнем, заиленным сверху; мелко-порошистый; «поскрипывает» при растирании в пальцах; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом реакции не дает; на отдельностях щебня снизу присутствуют округлые гумусово-железистые кутаны; влажный; граница ровная, переход резкий. |
|   | С,<br>26 и глубже                                   | Серый с буроватым оттенком, супесчано-гравелисто-щебнистый, рыхлый; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом реакции не дает; щебнистые отдельности имеют сверху автохтонные бурые кутаны, снизу — чистые; при высыхании осыпается; единичные тонкие корни, присутствует грибная ризосфера.                                   |

**Рис. 15.** Подбур охристый в почвенном разрезе № 5-КОНИ-2015(заложен 15 августа 2015 г. на шлейфе северо-восточной экспозиции; абс. выс. — 861 м; коорд. — 59° 9'14"СШ; 151°38'57"ВД; в 2,5 км юго-восточнее мыса Плоский)

Эти почвы, как и другие подтипы подбуров заповедника «Магаданский», имеют легкий механический состав с небольшим накоплением физической глины и ила в верхней части деятельного слоя, кислую и среднекислую реакцию среды (рН — 4,45-5,01); повышенные значения гидролитической кислотности (26,35-94,80 мг-экв/100 г почвы), высокие содержания обменного водорода (21,47-35,60 мг-экв/100 г почвы) и гумуса (6,71-17,61 %), относительно пониженное содержание суммы обменных оснований (6,93-30,95 мг-экв/100 г почвы) при регрессионно-аккумулятивном характере распределения этих показателей по профилю [31]. В данных почвах происходит накопление аллофана — водного силиката алюминия — продукта выветривания вулканического стекла, активного источника аморфных форм кремнезема и алюминия [24].

Дерново-подбур оподзоленно-охристые формируются под кедровыми стланиками кустарничково-моховыми (см. рис. 2) на крутых коренных склонах (35–40°) различных экспозиций (рис. 16) и склонах морских террас (рис. 17), на слоеватых каменисто-гравелистых солифлюксиях с маломощным чехлом вулканического пепла.

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|---|---|--|
|  | O, 0-5(7)   | Бурый, очень рыхлый злаковый очес с опадом листвы и веточек березы, сухой; граница волнистая, переход резкий.  |
|   | T1, 5(7)-10(12)                                     | Коричневый с серым оттенком, сухоторфяный (травяной войлок) уплотнен корнями в дернину примесью щебня гранодиорита, покрытого сверху гумусовыми кутанами; влажный; граница ровная, переход резкий.   |
|   | AYean, 10(12)-27(30)                                | Темно-серый с буроватым оттенком и светло-серыми пятнами (светлеет весь при высыхании), мелкопорошистый, мягкий, тонко-песчаный — вулканический пепел («поскрипывает» при растирании в пальцах) с включениями темно-коричневого перегноя, щебня и валунов; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; много корней с обильной ризосферой; влажный; щебень со всех сторон несет на поверхности темно-коричневые гумусовые кутаны; граница волнисто-язычковатая; переход резкий.  |
|   | BFap, 27(30)-60 (65)                                | Бурый с красноватым (рыжим) оттенком, с крупными охристыми пятнами, супесчано-тонкопесчаный, рыхло-комковатый (вулканический пепел в смеси с тонкой охрой гидроокиси железа — характерно «поскрипывает» при растирании в пальцах); от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; влажный; с примесью гравия и большим количеством щебня и камней; много корней, с обильной ризосферой (пахнет грибницей); щебнистые отдельности с верхних сторон припорошены пылеватыми темно-серыми частицами перегноя, снизу несут очаговые коричневые тонкие гумусово-железистые кутаны; граница волнистая, переход резкий. |
|   | C, 60(65) и глубже                                  | Бурый с желтым оттенком, супесчано-суглинисто-гравелистый с обильным щебнем и камнями (более 80%), с суглинистыми кутанами на щебне и камнях; уплотнен, много корней.  |

**Рис. 16.** Дерново-подбур оподзоленно-охристый в почвенном разрезе № 10-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. на коренном склоне восточной экспозиции; абс. выс. — 133 м; коорд. : 59° 8'51"СШ; 151°38'52"ВД; в 1,5 км юго-восточнее мыса Плоский)

| Фото передней стенки почвенного разреза  | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|--|---|---|
|  | O, 0-10   | Побуревшая, оторфованная снизу подстилка из столонов шикши, зеленная на 2/3 сверху, влажная после дождя, рыхлая, перемешана с куртинками мха и лишайника (цетрария), с опадом листвы, хвои и отпадом кустарничков ков.  |
|  | AY (BF), 10-25(28)                                  | Темно-бурая с коричневым оттенком рыхлая корневая дернина, с крупными светло-бурыми, супесчано-гравелистыми, мелкокомковатыми включениями, погребенного нижележащего горизонта в результате криосолифлюкционных турбаций; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом не дает реакции; сырой; переход; граница волнистая.  |
|  | BNFeap, 25(28)-40                                   | Пестро окрашенный, темные коричневые пятна чередуются желтоватыми и охристыми пятнами; гравелисто-супесчаный с обильными валунами андезита и полуокатанным щебнем; сверху на щебне и валунах довольно мощные наилки из измельченного материала вулканического пепла («поскрипывает» при растирании в пальцах), снизу — гумусово-железистые сплошные кутаны; горизонт, наилки и кутаны от соляной кислоты не вскипают, с α-α-дипиридиллом не дают реакции; корней мало; сильно уплотнен; граница ровная, переход резкий по каменности и цвету. |
|  | C, 40-60  | Бурый с желтоватым оттенком, гравелисто-супесчаный с обильными валунами, криогенно-зернистый; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом реакции не дает; корней нет, сырой.  |

**Рис. 17.** Дерново-подбур оподзоленно-охристый в почвенном разрезе № 2-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. на крутом склоне морской террасы северной экспозиции; абс. выс. — 16 м; коорд.: 59° 9'40"СШ; 151°38'37"ВД; в 0,1 км южнее мыса Плоский)

Данные почвы по физико-химическим и химическим свойствам мало отличаются от подбуров охристых. С большой долей вероятности эти подтипы различаются только качественным составом гумуса. Так, гумус дерново-подбуров по составу более «мягкий» и менее агрессивный, поскольку формируется из опада хвои кедрового стланика с большой примесью корневого опада травяной дернины.

Сухоторфяно-подзолы охристые формируются под кедровыми стланиками кустарничково-моховыми (см. рис. 2) на субгоризонтальных поверхностях нагорных террас, сложенных коллювиально-делювиальными каменистыми гравелисто-щебнистыми отложениями, перекрытыми сверху 10-15-сантиметровым чехлом вулканического пепла (рис. 18).



| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|---|---|---|
|  | O,<br>0–3   | Подстильно-торфяной из хвои кедрового стланика, густо-пронизанная живыми побегами багульника, сухой; граница ровная, переход постепенный  |
|   | TJ,<br>3–16   | Темно-бурый, сухоторфяный, порошистый, с отдельными включениями золы и угольков, а также белесоватого тонкого песка вулканического пепла по нижней границе, уплотнен и переплетен столонами кустарничков в дернину; граница ровная, переход резкий.   |
|   | Eap,<br>10–22                                       | Серый с белесоватым оттенком, темно-серым крапом погребенных оторфованных частиц и буроватыми прослойками и пятнами с примесью гравия и мелкого щебня по нижней границе, тонко-песчаного вулканического пепла — характерно «поскрипывает» при растирании в пальцах; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; зернисто-порошистый, местами тонко-слоистый, много корней, влажный; граница ровная, переход резкий.   |
|   | BFan,<br>22–27                                      | Темно-серый сплошной щебень с крупными валунами, гравием и примесью пеплового материала и гравия в виде корочек на верхних сторонах крупных валунов; характерно «поскрипывает» при растирании в пальцах (явный диагностический признак присутствия частиц вулканического пепла); от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом реакции не дает; с очаговыми гумусово-железистыми автохтонными кутанами на нижних сторонах щебня и валунов, влажный, корней существенно меньше. |
|   | C,<br>27–37   | Темно-серая сплошная щебнисто-валунная толща, мокрая, холодная; корни и мелкозем отсутствуют.   |

**Рис. 18.** Сухоторфяно-подзол охристый в почвенном разрезе № 6-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. на поверхности нагорной террасы; абс. отм. — 123 м; коорд.: 59° 9'03"СШ; 151°38'43"ВД; в 1,8 км южнее мыса Плоский)

Эти почвы, также как и подтипы сухоторфяно-подзолов других участков заповедника «Магаданский», имеют легкий механический состав, кислую и слабокислую реакцию среды (рН — 4,25-6,05), повышенную гидролитическую кислотность (94,80-102,90 мг-экв/100 г почвы), высокие содержание обменного водорода (до 40,50 мг-экв/100 г почвы) и гумуса (до 22,20 %), относительно пониженное содержание суммы обменных оснований (до 22,34 мг-экв/100 г почвы); характеризуются повышенным содержанием несиликатных форм кремния, алюминия и железа в подзолистых горизонтах и очень ярко выраженную их аккумуляцию в иллювиальных горизонтах [31, с. 97-98]. Перечисленные свойства подтверждают отмеченные выше особенности внутрипочвенного выветривания частиц вулканического пепла реолитового состава, выполняющих поверхностный слой почвообразующих пород участка исследований.


Подзолы охристые развиваются под кедровыми стланиками кустарничково-зеленомошными (см. рис. 2), на субгоризонтальных поверхностях древних морских цокольных террас, обрамляющих горные сооружения полуострова Кони, и перекрытых сверху слоистыми супесчано-гравелистыми солифлюксиями с включениями морских галек и валунов, а сверху — чехлом вулканического пепла мощностью до 0,25 м (рис. 19).

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|---|---|--|
|  | O,<br>0–20  | Побуревшая снизу подстильно-торфяная, переплетенная побегами кустарничков; сырой; переход резкий, граница ровная.  |
|   | Eap<br>20–35(40)                                    | Темно-серый с буроватым оттенком, бурый, светло-серыми и темно-коричневыми линзочками и пятнами; характерно «поскрипывает» при растирании в пальцах (явный диагностический признак присутствия частиц вулканического пепла); тонкопесчаный и супесчано-легкосуглинистый с включениями окатанного щебня и валунов, на поверхности которых располагаются сплошные тонкие железо-гумусовые кутаны; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; меньше корней и побегов кустарничков, но переплетен в рыхлую дернину, сырой; в пятнах и линзочках пеплового материала – тиксотропный; переход резкий, граница волнистая. |
|   | BHFaп<br>35–60                                      | Темно-рыжий, супесчано-гравелистый, порошисто-зернистый с железисто-марганцевыми конкрециями в нижней части; есть корни; сырой; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; гравий и окатанный щебень слегка заилены, а в нижней части горизонта покрыты аллохтонными железисто-марганцевыми кутанами со всех сторон; граница волнистая, переход резкий.   |
|   | ↓C<br>60 и глубже                                   | Светло-бурый с желтым оттенком супесчано-песчаный с обильным гравием и примесью щебня; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-дипиридиллом реакции не дает; плотный, сухомерзлый.   |

**Рис. 19.** Подзол охристый в почвенном разрезе № 3-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. на поверхности морской цокольной террасы; абс. отм. — 17 м; коорд.: 59° 9'37"СШ; 151°38'39"ВД; в 0,2 км южнее мыса Плоский)

Видно, что подзолы охристые отличаются от сухоторфяно-подзолов охристых отсутствием сверху сухоторфяных горизонтов. На месте последних наблюдается наличие довольно мощных оторфованных лесных подстилок. Их минеральные толщи практически не имеют различий. Из этого следует, что в целом их химико-аналитические показатели должны быть очень близки между собой, то есть — это кислые, ненасыщенные, грубогумусовые, сильно скелетные почвы, развивающиеся преимущественно в поверхностном 25-сантиметровом слое вулканического пепла.

Сухоторфяно-литоземы типичные развиваются под разнотравно-вейниковыми лугами на выположенных поверхностях аллювиальных террас, сложенных галечно-валунными отложениями со слоистым супесчано-гравелистым заполнителем (50 %), без признаков присутствия вулканического пепла (рис. 20).

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|---|---|--|
|  | +100  | Живой кустарниково-вейниковый травостой с травяным очесом.   |
|   | TJ,<br>0–25   | Светло-бурая торфяная дернина, пронизанная и уплотненная столонами и корнями вейника, свежий, мягкий (без примеси минерального материала). Граница ровная, переход резкий.   |
|   | Th,<br>25–70  | Темно-коричневый торфяно-перегнойный, легкий, порошистый, приобретает серый оттенок при высыхании, сырой, очень много корней, с обильной примесью гравия и гальки и валуны. Граница ровная, переход резкий.                      |
|   | M,<br>70–90   | Светло-бурый с серым крапом полуокатанный щебень с галькой и валунчиками с песчано-гравелистым заполнением на 5–10 %, пронизан тонкими корнями и ризосферой; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-дипиридиллом реакции не дает. |

**Рис. 20.** Сухоторфяно-литозем типичный разрезе № 4-КОНИ-2015 (заложен 14 августа 2015 г. путем зачистки левобережного обрыва надпойменной террасы р. Хинджа; уклон — 60о; абс. отм. — 6 м; коорд.: 59° 9'39.47"СШ; 151°38'43.45"ВД; в 0,1 км южнее мыса Плоский)

Эти почвы аналогичны по строению и свойствам сухоторфяным почвам заповедника «Магаданский» и характеризуются кислой реакцией среды (рН — 4,6), накоплением органического вещества в виде слабо разложенного торфа (до 38,35 %), высокой гидролитической кислотностью (до 115,63 мг-экв/100 г почвы), биогенным накоплением обменных оснований (до 41,34 до 23,20 мг-экв/100 г почвы), валовых фосфора, марганца, кальция, магния и калия, но низкой степенью насыщенности обменными основаниями (до 19 %), узким отношением общего углерода к общему азоту (до 16), пониженным содержанием специфических веществ (0,5-0,64) и аморфного железа, фульватным составом гумуса, в составе которого преобладают фракции 1 гуминовых и фульвокислот (56-73% от общего углерода в почве) с небольшим содержанием наиболее агрессивной фракции 1а фульвокислот и практически полным отсутствием вторых фракций гуминовых и фульвокислот [31, с.119-122].

Сухоторфяно-литоземы перегнойно-торфяные развиваются под густыми зарослями стлаников зеленомошно-сфагновых (см. рис. 3), на отдельных участках крутых коренных склонов, сложенных коллювиально-делювиальными каменистыми гравелисто-щебнистыми мерзлыми отложениями без признаков наличия вулканического пепла (рис. 21).

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|---|---|---|
|  | O,<br>0–10  | Побуревшая снизу зеленая моховая подстилка, переплетенная столонами кустарников, рыхлая, сырая.   |
|   | T,<br>10–22   | Бурый слабо разложенный кустарничково-моховой торф, сплетен корнями и столонами кустарничков в рыхлую дернину, с примесью гравия и щебня, мокрый; граница ровная, переход резкий. |
|   | Th,<br>22–25  | Темно коричневый, торфянисто-перегнойный с присыпкой из песка и гравия андезита, мягкий, мелкопорозистый, сырой, много корней; граница ровная, переход резкий.                    |
|   | ↓M<br>25 и глубже                                   | Сплошной щебень и валуны андезита, сухомерзлый с участками льда, корни единичны.  |

**Рис. 21.** Сухоторфяно-литозем перегнойно-торфяный в почвенного разрезе № 8-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. на крутом коренном склоне (35-40о) северной экспозиции; абс. выс. — 81 м; коорд.: 59° 9'13"СШ; 151°38'48"ВД; в 0,9 км юго-восточнее мыса Плоский)

Подтипы сухоторфяно-литоземов перегнойно-торфяных должны быть в значительной мере аналогичны по химико-аналитическим характеристикам сухоторфяно-литоземам типичным, за исключением заметного накопления под их торфяными горизонтами более



разложенных перегнойных слоев, лежащих преимущественно на сухомерзлых каменистых, хорошо дренированных отложениях. Для них также, как и для последних характерны кислая реакция среды, накопление грубогумусового органического вещества фульватного состава, высокие показатели гидролитической кислотности, биогенное накопление химических элементов, но низкие показатели насыщенности, узкие отношения общего углерода к общему азоту, пониженное содержанием специфических веществ и аморфного железа [см. 31, с.119-122].

Сухоторфяно-подбуры охристые развиваются в каменисто-лишайниковых, каменисто-кустарничковых (дриадовых или арктоусовых) горных тундрах с распростертыми кедровыми стланиками (см. рис. 4, 5, 6) на каменистых песчано-гравелистых с примесью частиц вулканического пепла элювиях и элюво-делювиях горных вершин, седловин и плато (рис. 22).

| Фото передней стенки почвенного разреза  | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|--|---|---|
|  | O,<br>0-4   | Лишайниковая куртина, переплетенная столонами багульника и брусники, сухая, ломкая; граница ровная, переход постепенный.  |
|  | TJ,<br>4-10(14)                                     | Темно-бурый, сухоторфяный, порошистый, слегка уплотнен и переплетен столонами кустарничков в дернину, свежий; граница ровная, переход резкий.   |
|  | BFan,<br>10(14)-16(25)                              | Светло-бурый с желтоватым оттенком, коричневыми пятнами, тонкопесчаный («поскрипывает» при растирании пальцами - пепловый) с небольшой примесью гравия и щебня, заполняет пространство между камнями и покрывает слоем горизонтальные поверхности крупных камней, очень рыхлый, осыпается, сухой; от соляной кислоты не вскипает; с $\alpha$ -диперидилом реакции не дает; на верхних сторонах щебнистых отдельностей скелетаны из тонкого песка, на нижних – очаговые железо-гумусовые кутаны; много корней; граница ровная, переход резкий. |
|  | Dan,<br>16-30                                       | Темно серый сплошной щебень с крупными камнями и валунами с примесью пеплового материала и гравия в виде корочек на верхних сторонах щебнистых и каменистых отдельностей; на нижних сторонах щебня и валунов присутствуют округлые гумусово-железистые кутаны; от соляной кислоты не вскипает; с $\alpha$ -диперидилом реакции не дает; влажный; единичные корни.   |

**Рис. 22.** Сухоторфяно-подбур охристый в почвенном разрезе № 10-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г.; на выположенной горной седловине; абс. выс. – 498,6 м; коорд.: 59° 8'08"СШ; 151°37'29"ВД; в 1,5 км южнее мыса Плоский)

Эти почвы в основном аналогичны подбурам охристым и отличаются от них лишь наличием сухоторфяных горизонтов повышенной мощности, которые обуславливают некоторое увеличение гумусности, кислотности и ненасыщенности, при регрессионно-аккумулятивном распределении данных показателей по генетическим профилям.

Серогумусовые (дерновые) охристо-глееватые почвы развиваются в нивальных ивнячково-разнотравных лугах (см. рис. 8), произрастающих в проточно-заболоченных ледниковых карах, нивальных нишах и террасах. В последних аккумулируется поверхностный сток с окружающих территорий в виде селевых суспензий, обогащенных тонкопесчаными частицами вулканического пепла. Таким образом, в этих геоморфологических элементах альпинотипного рельефа формируются слоистый песчано-суглинистый пролюво-делювий, служащий почвообразующей породой для обозначенных почв (рис. 23, 24).



| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|---|---|--|
|  | O,<br>0-7(10)                                       | Побуревшая снизу, заиленная моховая подстилка, пронизанная стеблями осоки; сырой; граница волнистая, переход резкий.   |
|   | AYOh,<br>7(10)-42                                   | Слоистый темно-бурый легкосуглинистый с примесью тонкого оторфованного злаково-осокового опада, с темно-серыми мажущимися торфянисто-перегнойными прослойками на глубинах 17-24 и 35-42 см, светлыми гравелистыми включениями в нижней грубогумусово-перегнойной прослойке, переплетен корнями в уплотненную дернину, мокрый, отжимается вода темно-бурой окраски; в нижней контактовой части постепенно рыжеет; граница ровная, переход резкий. |
|   | BCfhan(g),<br>42-45                                 | Светло-серый с сизым оттенком, с желтовато-белесоватыми прослойками, тяжелосуглинистый творожисто-слоистый, мокрый, с глубины 43 см крупитчато-комковато-зернистый криогенно-оструктуренный, корней очень мало, встречаются прослойки гравия и мелкого щебня; мокрый, от соляной кислоты не вскипает, с α-α-диперидилом дает покраснение в течении 15-20 минут; граница ровная, переход резкий.  |
|   | C(g),<br>45-60                                      | Светло-желтый с сизым оттенком гравелисто-щебнистый с суглинистой примесью; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-диперидилом дает покраснение в течении 15-20 минут; холодный, корней нет, сочится мутная вода с глубины 50 см; вероятно, глубже, с 55-60 см – мерзлый, водоупорный.  |

**Рис. 23.** Серогумусовая (дерновая) охристо-глееватая почва в разрезе № 1-КОНИ-2015 (заложен 12 августа 2015 г. под мокрой нивальной луговиной в днище проточно-заболоченного ледникового кара с озерком; абс. выс. – 131 м; коорд.: 59° 8'49.20"СШ; 151°38'51.25"ВД; в 1,6 км юго-восточнее мыса Плоский)

| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|---|---|--|
|  | O,<br>0-3   | Моховая оторфованная подстилка, отслаивающаяся от нижележащего; сырой; граница ровная, переход резкий.   |
|   | AY(g),<br>3-27(30)                                  | Темно-коричневый с серым оттенком, легкосуглинистый с гравием и щебнем, порошисто-рыхлокомковатый, много корней, образующих рыхлую дернину; сырой; включения щебня и гравия чистые без кутан; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-диперидилом дает слабое покраснение – признак присутствия оглеения; граница волнистая, переход резкий.   |
|   | BCfhan(g),<br>27(30)-50                             | Светло-бурый с желтым оттенком и сизовато-коричневыми гумусированными разводами и пятнами, среднесуглинистый с гравием и щебнем; влажный; крупитчатый — криогенно-оструктуренный; слабое характерное «поскрипывание» при растирании в пальцах — признак присутствия примеси вулканического пепла; щебень заилен со всех сторон, корней мало; от соляной кислоты не вскипает; с α-α-диперидилом дает слабое покраснение – признак присутствия оглеения; |
|   | Cfan, 50 и глубже                                   | Желтый, щебнисто-гравелистый с примесью тонкого песка и супеси из вулканического пепла; от соляной кислоты не вскипает, с α-α-диперидилом дает реакции не дает; корней нет, сильно уплотнен, холодный, мокрый.   |

**Рис. 24.** Серогумусовая (дерновая) охристо-глееватая почва в разрезе № 9-КОНИ-2015 (заложен 15 августа 2015 г. под разнотравной луговиной на вогнутой поверхности нивальной ниши (террасы); абс. выс. – 302 м; коорд.: 59° 8'43"СШ; 151°37'29"ВД; в 2,2 км юго-западнее мыса Плоский)

Данные почвы характеризуются равномерной аккумуляцией физической глины, глинистым составом мелкозема с повышенным содержанием илистой фракции (30%), тонкого песка (21-25%) и мелкой пыли (13-16%), вследствие делювиальной сортировки фракций мелкозема и биогенной аккумуляцией коллоидных части; обогащенностью

несиликатными формами железа, (32-36 % от его валового) слабой дифференциацией их содержания по глубине, обусловленной послойной седиментацией мелкозема почвообразующих пород в условиях повышенного увлажнения [31, с. 67-69]. Изученные почвы отличаются присутствием аморфного кремнезема в виде значительной примеси белесых частиц вулканического пепла реолитового состава.

Аллювиальные серогумусовых (дерновые) глееватые почвы развиваются на надпойменных террасах местных водотоков под кустарниковыми травяными тополево-чозениевыми лесами (см. рис. 11), разнотравно-злаковыми ивняками (см. рис. 12) и злаковыми ольховниками (см. рис. 13) на аллювиальных галечниках и валунниках с примесью печано-гравелистого заполнителя (рис. 25).

| Фото передней стенки почвенного разреза  | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание   |
|--|---|--|
|  | +100  | Живой вейниковый травостой с его очесом, переплетенный опадом стволов и веток ивняка и ольховника.   |
|  | AУ,<br>0–6  | Темно-коричневый с серым оттенком, желтыми оторфованными травянистыми остатками, мягкий, рыхлый, сырой, граница ровная, отслаивается.              |
|  | BC, ~ ~<br>6–20                                     | Бурый с рыжеватым оттенком, гравелисто-крупно-песчаный с обильной галькой и валунами, рыхлый, сырой, граница ровная, переход резкий.               |
|  | C(g), ~ ~<br>20–65                                  | Пестро-окрашенный: сизые и желтые зоны разного по всей глубине, сизые супесчаные и супесчано-легкосуглинистые, желтые суглинистые, бесструктурный. |
|  |   |  |

**Рис. 25.** Аллювиальная серогумусовая (дерновая) глееватая почва в разрезе № 11 - КОНИ-2015 (заложен 16 августа 2015 г. на уступе первой правобережной высокой поймы р. Хинджа под кустарниковым травяным тополево-чозениевым лесом; абс. выс. – 2 м; коорд.: 59° 8'08"СШ; 151°37'29"ВД; в 0,5 км юго-восточнее мыса Плоский)

Эти почвы аналогичны по генетическим особенностям аллювиальным серогумусовым (дерновым) типичным почвам заповедника «Магаданский» и характеризуются контрастной слоистостью генетических горизонтов, слабокислой реакцией среды (рНвод. — 5,1-6,9) с повышенными значениями гидролитической кислотности (9,7-73,4 мг-экв./100 г почвы) и содержанием грубого органического вещества фульватного состава в виде погребенных линз оторфованного опада и детрита (гумус по Тюрину — 4,1–46,4 %; Сг.к.: Сф.к.— 0,4–0,8); по валовому составу слабо дифференцированы; в их дерновых горизонтах аккумулируются элементы органогены, а также наблюдается тенденция к слабому накоплению аморфных форм железа [31, с. 48–64].

Криоземы глееватые развиваются на отдельных участках цокольных морских террас и на первых надпойменных речных террасах, под растительностью заочкаренных осоково-пушицевых тундр с уплощенными низкорослыми кустами кедрового стланика (см. рис. 10) в толщах щебнистых гравелисто-суглинистых пролюво-делювию мощностью до 1,5 м, перекрывающих сверху эти террасы (рис. 26).

| Фото передней<br>стенки почвенного<br>разреза                                     | Наименование<br>и мощность<br>генетических<br>горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|---|--|---|
|  | Ov<br>0–7  | Рыхлая живая подушечка из лишайников, пронизанная столонами ивы и багульника, побуревшая снизу.   |
|   | CR<br>7–30 (40)  | Бурый, среднесуглинистый со щебнем и гравием криогенно-ореховатый, трещиноватый, много корней, образующих удерживающую дернину, слегка ожелезненный, влажный. Граница волнистая, в западинах выклинивается. Переход заметный по сложению и окраске.   |
|   | Cg<br>30(40)–60 и<br>глубже                                  | Бурый с сизым оттенком среднесуглинистый, щебнисто-каменистый, щебень и камни составляют около 40 % объема горизонта, творожистый на изломе, влажный, с α-α-диперидилом дает слабое покраснение, единичные корни, с 60 см прохладный, оплывает, собирается надмерзлотная верховодка, возрастет щебнистость и каменистость, мерзлый со 150 см. |

**Рис. 26.** Криозем глееватый в разрезе № 13-КОНИ-2015 (заложен 19 августа 2015 г. на цокольной морской террасе, возвышающейся над левым берегом р. Хинджа под закоряченной пушицево-осоковой тундрой с распростертыми кустами кедрового стланика; абс. выс. – 105 м; коорд.: 58° 57'20"ВД; 151°38' 39,2"СШ; в 1,5 км юго-восточнее мыса Плоский)

Криоземы глееватые аналогичны по генетическим особенностям криоземам глееватым Сеймчанского участка заповедника «Магаданский»: их слагают в основном пылевые (48-61%) фракции мелкозема и ил (20-24%), формирующиеся в процессе криогенных трансформаций почвообразующего делювиального материала; в результате криогенного массообмена эти почвы приобретают повышенные показатели грубогумусности (гумус по Тюрину — 2,9-18,9 %) гидролитической кислотности (6,74-45,60 мг-экв/100 г почвы), содержания аморфного железа (1,0-13,35 %) и обменных оснований (10,90-63,56 мг-экв/100 г почвы), широкие значения C:N (9-14) [\[31, с.81-82\]](#).

Пелоземы гумусовые типичные развиваются на горях кедровых стлаников, на участках полного выгорания растительных покровов и лесных подстилок под иван-чаево-вейниковыми синузиями (см. рис. 9), в приповерхностных толщах супесчано-щебнистых элюво-делювиев (рис. 27).



| Фото передней стенки почвенного разреза   | Наименование и мощность генетических горизонтов, см | Морфологическое описание  |
|---|---|---|
|  | W,<br>0–5   | Светло бурая ноздреватая корка супесчано-суглинистая с камнями и редкими побегами иван-чая, сухая рыхлая. |
|   | C''[BCf],<br>5–30                                   | Рыжий супесчано-суглинистый гравелистый с обильным щебнем, комковатый, уплотнен, мало корней, влажный.    |

**Рис. 27.** Пелозем гумусовый типичный в разрезе № 12-КОНИ-2015 (заложен 19 августа 2015 г. под иван-чаево-вейниковой сукцессией на участке горелой кедровостланиковой заросли, на пологом шлейфе, на увале между ручьями Перемычный и Кустарниковый; абс. выс. — 54 м; коорд.: 59° 12'48"СШ; 151°20'26"ВД) в толще супесчано-суглинистого щебнистого делювия в 2,8 км юго-западнее мыса Плоский)

Развитие пелоземов гумусовых типичных в границах Ольского участка происходит на месте деградированных пожарами подбуров и подзолов охристых. Поверхностные минеральные горизонты этих почв, обогащенные золой и угольной пылью, выступают в качестве почвообразующих пород по отношению к пелоземам. Послепожарное возобновление растительности обеспечивается за счет обогащения подвижными зольными питательными веществами пирогенного характера, а также за счет минерализации корневого опада травянистых пионеров. В результате, вновь образующиеся пелоземы на месте альфегумусовых почв приобретают в приповерхностном слое слабокислую реакцию, насыщенность обменными основаниями и элементами органогенами. Свойства нижележащих горизонтов пелоземов идентичны свойствам иллювиальных горизонтов исконных почв.

#### Структура почвенного покрова

В силу неоднородности конструктивных и коррективных факторов структурной организации, на почвенной картке Ольского участка выделяются 9 контуров структур почвенного покрова (рис. 28). Среди них наиболее широко распространены округлые контуры вариаций фитогенных пятнистостей подбуров охристых с фитогенными пятнистостями дерново-подбуров иллювиально-железистых охристых, занимающих 37 % его территории (табл. 14). Менее значимые площади участка (26 %) занимают округлые контуры сочетаний фитогенных пятнистостей сухоторфяно-подзолов охристых и подзолов охристых с фитогенными пятнистостями сухоторфяно-литоземов перегнойно-торфяных. Распространенность остальных контуров СПП на участке имеет спорадический характер, площадь каждого из них не превышает 8 %. Самыми экзотическими (1 %) на участке являются округлые контуры фитогенных пятнистостей подзолов охристых глееватых.

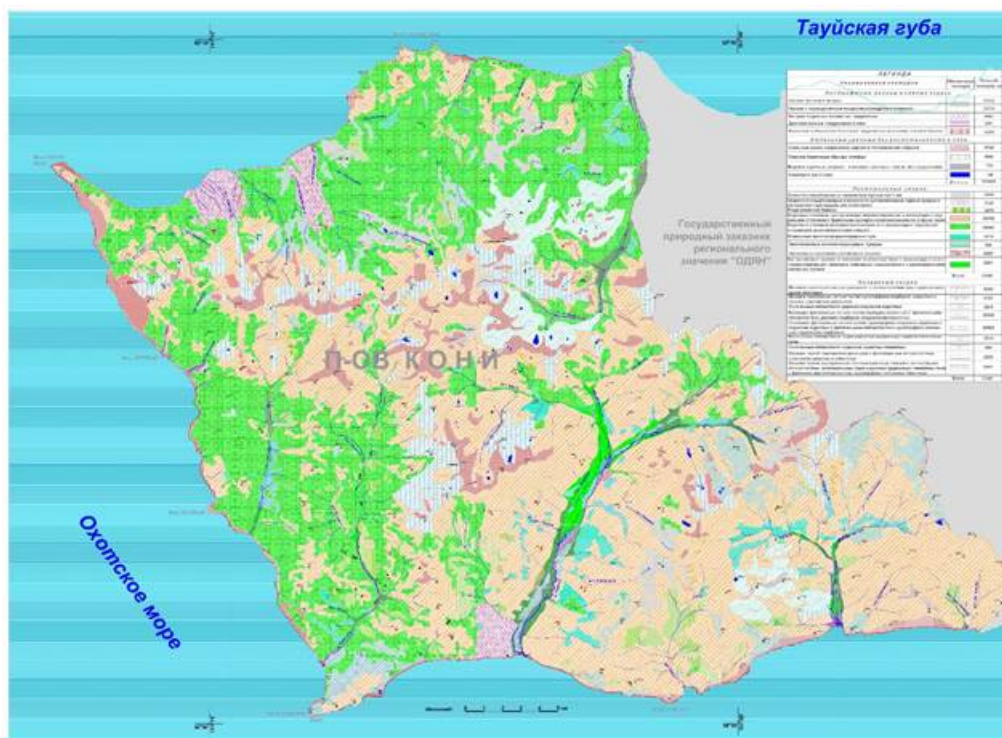
Таблица 2. Типизация структуры почвенного покрова в разрезе ландшафтных округов и районов

| конструктивные и коррективные факторы организации почвенного покрова   |   | Наименование контуров  | Геометрические формы очертаний контуров | Обозначение контуров на карте | Площадь, га |
|--|---|--|---|-------------------------------|-------------|
| Рельеф и почвообразующие породы  | Растительные сообщества   |  |   |                               |             |
| Ландшафтный район горных пустынь и тундр   |   |  |   |                               |             |
| Ледниковые цирки и кары, тектонические сбросы и обнажения, сложенные скальными массивами и каменистыми россыпями             | -   | -  | -                                       | -                             | 9742        |
| Ледниковые озера   | -   | -  | -                                       | -                             | 139         |
| Элювиальные нагорные плато, сложенные скальными массивами и каменистыми россыпями  | Эпилитно-лишайниковые каменистые горные пустыни   | Мозаики полей каменистых россыпей с пятнистостями сухоторфяно-литоземов типичных           | Амебовидные                             | КР х Лзст                     | 8359        |
|  | Каменисто-лишайниковые и каменисто-кустарничковые горные тундры с распростертыми кедровыми стланиками | Мозаики литогенных пятнистостей сухоторфяно-подбуров охристых с полями каменистых россыпей | Амебовидные                             | ПБстх х КР                    | 5162        |
| Ландшафтный округ горных и горно-долинных тундролесий (кедровых стлаников)   |   |  |   |                               |             |
| Крутые горные склоны южной экспозиции, сложенные каменистыми россыпями с фрагментарным поверхностным чехлом и прослойками из | Рощи каменной березы  | Фитогенные пятнистости дерново-подбуров оподзоленно-охристых                               | Овальные                                | ПБдопх                        | 345щ7       |

|  |   |   |                                   |                       |       |
|--|---|---|-----------------------------------|-----------------------|-------|
| риолитовой<br>тефры  |   |   |                                   |                       |       |
| Горные склоны<br>и шлейфы,<br>сложенные<br>элювиально-<br>делювиальными<br>отложениями с<br>поверхностным<br>чехлом и<br>прослойками из<br>риолитовой<br>тефры | Кедровые<br>стланики<br>кустарничково-<br>мертво-<br>покровные в<br>ассоциации с<br>кедровыми<br>стланиками<br>травяными<br>кустарничково-<br>моховыми по<br>старым гарям | Вариации<br>фитогенных<br>пятнистостей<br>подбуров<br>охристых с<br>фитогенными<br>пятнистостями<br>дерново-<br>подбуров<br>иллювиально-<br>железистых<br>охристых                                  | Округлые                          | ПБх :<br>ПБдджх       | 38186 |
|  | Кедровые<br>стланики<br>кустарничково-<br>моховые в<br>ассоциации с<br>кедровыми<br>стланиками<br>зеленомошно-<br>сфагновыми  | Сочетания<br>фитогенных<br>пятнистостей<br>сухоторфяно-<br>подзолов<br>охристых и<br>подзолов<br>охристых с<br>фитогенными<br>пятнистостями<br>сухоторфяно-<br>литоземов<br>перегнойно-<br>торфяных | Округлые                          | [(Постх<br>Пох)+Лзтп] | 26962 |
| Ландшафтный округ нагорно-террасово-холмистых тундролесий  |   |   |                                   |                       |       |
| Нагорные ниши<br>и террасы,<br>сложенные<br>пролювиаль-<br>ными и<br>элювиально-<br>делювиаль-<br>ными<br>отложениями с<br>примесью<br>риолитовой<br>тефры     | Нивальные<br>ивнячково-<br>разнотравные<br>луга   | Фитогенные<br>пятнистости<br>серогумусовых<br>(дерновых)<br>охристо-<br>глееватых<br>почв   | Овальные<br>и<br>лентовид-<br>ные | Гудгх                 | 3018  |
|  | Закочкарен-<br>ные осоково-<br>пушицевые<br>тундры с<br>распростер-<br>тыми<br>кедровыми<br>стланиками  | Фитогенные<br>пятнистости<br>подзолов<br>охристых<br>глееватых  | Округлые                          | Погх                  | 860   |
|  | Пирогенные<br>иванчаево-<br>вейниковые  | Мозаики<br>полей<br>каменистых<br>россыпей с<br>фитогенными   | Округлые                          | КР х Пзгуг            | 2025  |

|  |   |  |             |                              |      |
|--|---|--|-------------|------------------------------|------|
|  | сукцессии   | пятнистостями<br>пелоземов<br>гумусовых<br>типичных  |             |                              |      |
| Ландшафтный район долинно-речных тундролесий и лесов   |   |  |             |                              |      |
| Прирусловые и низкие поймы, расчлененные протоками и флювиальным струйчато-грядовым микрорельефом с участками завалуненных песчано-галечных кос и пляжей | Кустарниково-вые травяные тополево-чозениевые леса в ассоциации со злаково-разнотравно-ивняковыми и вейниковыми синузиями | Мозаики полей завалуненных песчано-галечных пляжей с литогенными пятнистостями аллювиальных серогумусовых (дерновых) глееватых почв и фитогенными пятнистостями сухоторфяно-литоземов типичных | Лентовидные | ГП х<br>(Алдг.Алд)<br>х Лзст | 3091 |
| Ландшафтный район лайдовых приливно-отливных и абразионно-береговых тундролесий, лугов, пляжей, осыпей и обрывов   |   |  |             |                              |      |
| Береговые обрывы (клифы)   | -   | -  | -           | -                            | 1649 |
| Морские валунно-галечные пляжи   | -   | -  | -           | -                            | 776  |





**Рис. 28.** Почвенная карта Ольского участка заповедника «Магаданский»

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные картографические и морфолого-генетические сведения позволяют заключить, что почвенный покров на Ольском участке заповедника «Магаданский» представлен округлыми вариациями фитогенных пятнистостей подбуров охристых с фитогенными пятнистостями дерново-подбуров иллювиально-железистых охристых и сочетаниями фитогенных пятнистостей сухоторфяно-подзолов охристых и подзолов охристых с фитогенными пятнистостями сухоторфяно-литоземов перегнойно-торфяных. Остальные почвенные комбинации, в том числе фитогенные пятнистости подзолов охристых глееватых, имеют ограниченную распространенность. Почти все эти «охристые» подтипы относятся к альфегумусовому отделу почв двух типов: подзолам и подбуром, формирующимся под кедровыми стланиками в остаточном приповерхностном слое эродирующего чехла вулканического пепла мощностью не более 0,25 м, привнесенного из реликтового вулкана — кальдеры Курильского озера (южная Камчатка) ориентировочно 8,5 тыс. лет назад. Наряду с этими подподтипами, под луговой растительностью в аккумулятивных формах альпинотипного рельефа Ольского участка формируется подтип «охристых» почв типа серогумусовые (дерновые) органо-аккумулятивного отдела. Генезис последних тесно связан с процессами флювиальной сепарации и послойной седиментации, чехла вулканического пепла и продуктов их выветривания в отрицательных формах рельефа в составе слоистых, супесчано-суглинистых избыточно проточно-увлажненных пролювиально-делювиальных наносов.

В течении указанного периода времени после привноса тефры, текущие поверхностные эрозионные процессы полностью уничтожили некогда сплошной пеплового чехол на хорошо дренированных положительных элементах местного микрорельефа и крутых склонах. Там, где пепловый чехол деградировал полностью за счет эрозионных процессов, «вышли» на поверхность скальные обнажения и каменистые россыпи разного генезиса. Эти непочвенные образования явились основой для формирования локальных комбинаций — мозаик с подтипами отделов аллювиальных почв и литоземов.

Несколько неясной остается роль пеплового материала в генезисе слабо развитых (пелоземы гумусовые) и криометаморфических (криоземы глееватые) почв. Вероятно, это связано с общим несовершенством его диагностики в общих массах почвенных горизонтов, испытывающих активные процессы криогенного массообмена.

Таким образом, в почвообразовании Ольского участка основополагающая роль принадлежит древнему поверхностному чехлу риолитовой тефры. Вызывает большой научный интерес дальнейшее обобщения и уточнение сведений о диагностике и географии распространения слоисто-пепловых почв на материковой части Северо-Востока Азии.

Полученные материалы убеждают в том, что Ольский участок, также как и все Северное Приохотье, располагается в зоне активного влияния древнего и современного камчатского вулканизма на почвообразование. Благодаря эоловому распространению пеплового материала весь этот обширный регион подвергается постепенному, а иногда и катастрофическому, поверхностному литогенному «обновлению» и приросту. Казалось бы, что этот давно очевидный факт для вулканологов должен был натолкнуть на изменения существующей парадигмы формирования в районе исследований подзолов в целом и процесса оподзоливания в частности. Но этого пока так и не произошло, ввиду затрудненной диагностики присутствия пеплового материала и продуктов его выветривания в почвах, с одной стороны, а также, вероятно, в связи с общим резким снижением исследовательской активности в географии почв этого обширного региона — с другой.

## Библиография

1. Алфимов А.В. Дифференциация температур и вертикальная поясность побережья // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2006. С. 138-156.
2. Андреев Д.П., Игнатенко И.В., Мажитова Г.Г. Прimitивные органогенно-щебнистые почвы Крайнего Северо-Востока СССР. Магадан: ИБПС ДВНЦ АН СССР, 1981, 27 с.
3. Баранова Ю.П., Бискэ С.Ф. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока // Северо-Восток СССР. М.: Изд-во Наука, 1964, 290 с.
4. Беркутенко А.Н., Докучаева В.Б., Полежаев А.Н. Флора и растительность заповедника «Магаданский». Вып. 1. Североохотская часть. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1989. 58 с.
5. Галанин А.А., Глушкова О.Ю., Смирнов В.Н. Позднечетвертичная история развития рельефа, климата и растительности // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2006. С. 51-69.
6. Геология СССР. Северо-Восток СССР. Геологическое описание. М.: Изд-во Недра, 1970. Т. 30. Кн. 2, 536 с.
7. Государственная геологическая карта. М-6 1:1000000 (новая серия) Лист О-56 – Магадан; Р-56, 57 – Сеймчан и Объяснительная записка. Отв. Ред. М.Л. Гельман. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1992. 112 с.
8. Замолотчиков С.А. Приохотский регион // Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Изд-во Недра, 1989. С. 351-362.
9. Замощ М.Н., Дмитриев А.И., Моторов О.В. Гидрология, гидрогеология и геокриология побережья // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2006. С. 157-172.
10. Игнатенко И.В., Богданов И.Е., Пугачев А.А. Подзолистые Al- Fe-гумусовые почвы

- Магаданской области // География и генезис почв Магаданской области. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 123-142.
11. Игнатенко И.В., Наумов Е.М., Богданов И.Е., Мажитова Г.Г., Павлов Б.А. Почвенно-географическое районирование Крайнего Северо-Востока СССР // Почвы островов и приокеанических регионов Тихого океана: материалы 16 Тихоокеанского научного конгресса. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 44-96.
12. Игнатенко И.В., Пугачев А.А., Богданов И.Е. Морфолого-генетическая характеристика почв территории стационара // Компоненты биогеоценозов тундролесий Северного Охотоморья. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 62-10.
13. Игнатенко И.В., Хавкина Н.В. Подбуры Крайнего Востока СССР // География и генезис почв Магаданской области. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 93-117.
14. Клюкин Н.К. Климат // Север Дальнего Востока. М.: Изд-во Наука, 1970. С.101-132.
15. Крючков В.В. Безлесье тундровой зоны Северо-Восточной Сибири и его причины // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. № 4. С. 97-105.
16. Мажитова Г.Г. Почвы и почвенный покров заповедника «Магаданский». Кава-Челомджинский участок: препринт. Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988, 45 с.
17. Мелекесцев И.В., Глушкова О.Ю., Кирьянов В.Ю., Ложкин А.В., Сулержицкий Л.Д. Происхождение и возраст магаданских вулканических пеплов // Докл. АН СССР. Т. 317, № 5. 1991. С. 1192.
18. Наумов Е.М. Почвы южной части Магаданской области в пределах Охотского побережья // О почвах Восточной Сибири М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 153-195.
19. Наумов Е.М. Почвы северного побережья Охотского моря. Автореферат диссертации кандидата сельскохозяйственных наук. М.: ТСХА, 1968, 20 с.
20. Наумов Е.М. Пойменные дерновые почвы Магаданской области как резерв увеличения пахотного фонда. – Тр. Магаданского зонального НИИСХ Северо-Востока. Т.1. Магадан: Магаданское книжное издательство, 1970. С. 177-182.
21. Наумов Е.М. Почвы Магаданской области и их агрохимическая характеристика // Агрохимическая характеристика почв СССР Дальний Восток М.: Изд-во Наука, 1971. С. 240-313.
22. Наумов Е.М. Главные типы генетических почвенных профилей и особенности почвенного покрова таежной зоны Крайнего Северо-Востока // Почвы и растительность мерзлотных районов СССР. Мат. V симп. Магадан, 1973. С. 29-41.
23. Наумов Е.М., Градусов Б.П. Особенности почвообразования на Крайнем Сереро-Востоке Евразии. М.: Изд-во Колос, 1974, 148 с.
24. Наумов Е.М., Градусов Б.П. Особенности почвообразования на северном побережье Охотского моря // Мерзлотные почвы и их режим. М.: Изд-во Наука, 1964. С. 28-99.
25. Наумов Е.М., Градусов Б.П., Цюрупа И.Г. О таежном почвообразовании на Северо-Востоке Сибирской мерзлотной области // Почвенный криогенез. М.: Изд-во Наука, 1974. С. 34-77.
26. Наумов Е.М., Савич В.И. Аллювиальные почвы Приохотских районов Магаданской области и их сельскохозяйственное значение. // Докл. ТСХА, 1964. Вып. 99. С. 87-94.
27. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3. Многолетние данные. Часть 1-6. Вып. 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ Магаданской области. Л.:Гидрометеиздат, 1990, 567 с.

28. Огуреева Г.Н. Структура высотной поясности растительности гор Северо-Востока Сибири // География и природные ресурсы, 1998, № 2. С. 5-11.
29. Павлов Б.А. Почвы и почвенный покров Ямского лесничества Госзаповедника «Магаданский»: препринт. Магадан: ИБПС ДВО РАН, 1991, 52 с.
30. Павлов Б.А. Замош М.Н. Ландшафтная структура побережья // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2006. С. 100-116.
31. Павлов Б.А., Мажитова Г.Г. Почвы и почвенный покров заповедника «Магаданский» // Научные исследования в заповеднике «Магаданский». М.: АНО Издательский Дом «Научное обозрение», 2015. С. 37-148.
32. Пономарева В.В. Крупнейшие эксплозивные вулканические извежения и применение их тефры для датирования и корреляции форм рельефа и отложений. Автореферат диссертации доктора географических наук. М.: Институт географии РАН, 2010, 52 с.
33. Почвенная карта Магаданской. М-б 1:2500000. Отв. Ред. Л.Л. Шишов. М.: Изд-во ГУГК при Совете Министров СССР, 1990. 112 с.
34. Реутт А.Т. Растительность // Север Дальнего Востока. М.: Изд-во Наука, 1970. С. 259-299.
35. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983, 320 с.
36. Таргульян В.О., Караваева Н.А., Наумов Е.М., Соколов И.А., Розов Н.Н. Почвы // Север Дальнего Востока. М.: Изд-во Наука, 1970. С. 234-256.
37. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972, 422 с.
38. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификацией и диагностикой почв России. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004, 342 с.
39. Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology // Geological Society of America Bulletin. 1945. T. 56. Vol. 3. С. 275-370.

## Результаты процедуры 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, обследование и анализ Ольского участка заповедника «Магаданский» (полуостров Кони) для создания карта почвенного покрова исследованного участка полигона.

Методология исследования исходя из анализа статьи можно сделать вывод о использовании в качестве методологической основы диагностики и номенклатуры почв, а также картографирования почвенного покрова участка Ольский заповедника «Магаданский» современные отечественные учения о диагностике, об их структурно-пространственной организации и классификации почв, а также метод картографического моделирования на основе общедоступной топографической карты полуострова Кони масштаба 1:100000, а также полевые и камеральные материалы морфологических описаний рельефа и микрорельефа, растительных сообществ и их видового состава, структурной организации контуров почвенного покрова и отдельных генетических профилей подтипов почв. Автором также использовался метод литературного анализа, сравнительных характеристик географических объектов и процессов, метод построения диаграмм.

Актуальность затронутой темы связано с тем, что до настоящего времени достоверные

сведения о почвах и почвенном покрове Ольского участка заповедника «Магаданский» полностью отсутствовали и носили предположительный характер, в силу его трудной доступности. В связи с этим, на почвенной карте Магаданской области в границах данного участка обозначены четыре контура почв: подзолы иллювиально-многогумусовые сухоторфянистые сухомерзлотные, подбуры тундровые без разделения, подзолы иллювиально-гумусовые и железисто-гумусовые без разделения сухомерзлотные, примитивные щебнистые. Присутствие пеплового материала в перечисленных почвах на карте не отмечено вообще. Автор восполнил этот пробел.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований произведена классификация почв и их дифференцировка. Полученные материалы убеждают в том, что Ольский участок является типичным для всего Северное Приохотье в зоне активного влияния древнего и современного камчатского вулканизма на почвообразование. Отмечено, что благодаря эоловому распространению пеплового материала весь этот обширный регион подвергается постепенному, а иногда и катастрофическому, поверхностному литогенному «обновлению» и приросту. Ввиду затрудненной диагностики присутствия пеплового материала и продуктов его выветривания в почвах, с одной стороны, а также, в связи с общим резким снижением исследовательской активности в географии почв этого обширного региона - с другой, пока изменения существующей парадигмы формирования в районе исследований подзолов в целом и процесса оподзоливания в частности не произошло.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим процесс создания Почвенной карты Ольского участка заповедника «Магаданский»

. Таблицы, фотографии и схемы иллюстративны,

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты.

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

## Using Machine Learning to Classify Stratigraphic Layers of Snow According to the Snow Micro Pen Device

**Frolov Denis Maksimovich**

Scientific Associate, Faculty of Geography, M. V. Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. 1904B

✉ denisfrolov@mail.ru



**Seliverstov Yurii Germanovich**

Researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1

✉ yus5@yandex.ru



**Koshurnikov Andrei Viktorovich**

Researcher, Faculty of Geography, Department of Cryolithology and Glaciology, Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1

✉ koshurnikov@msu-geophysics.ru



**Gagarin Vladimir Evgen'evich**

Scientific Associate, Department of Geocryology, M. V. Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1

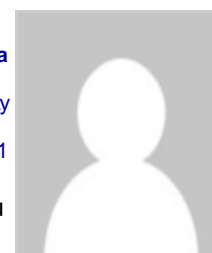
✉ gagar88@yandex.ru



**Nikolaeva Elizaveta Sergeevna**

Student, Department of Cryolithology and Glaciology, Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1

✉ nikolaeva\_lizaveta@mail.ru



**Abstract.** The observation of snow cover by the staff of the Geographical Faculty of Moscow State University of the meteorological observatory has long been researched. This article describes the snow accumulation features and the snow cover's stratigraphy. The third cyclone arrived in Moscow on the night of December 14. There had been a large number of snowdrifts since the beginning of the snow accumulation, and the 49 cm mark was recorded at the MSU weather station. The difficulties of classifying layers in the snow column have been investigated by many glaciologists, something that is also considered in this paper. Machine learning methods were used to classify stratigraphic layers in the snow column according to measurements from the snow micro pen device. The ice crystal shapes within the snow column, resulting from metamorphism (rounded, faceted, thawed), exhibit variations in both density and parameters derived from the snow micro pen device data processing. Specifically, MPF(N) represents the average resistance force, SD(N) denotes its standard deviation, and cv



signifies its covariance. This diversity allows for the categorization of processed device data and the incorporation of new measurement data without relying on direct manual drilling results.

The obtained device data underwent thorough processing. Through comparison with data from direct snow stratigraphy surveys, the stratigraphic layers of the snow column were classified. Subsequently, utilizing the classified data of the device's stratigraphic layers, K-nearest neighbors clustering enabled the classification of new data obtained from the device without the need for additional manual surveys in the future.

**Keywords:** snow cover, research, heterogeneity of the snow layers, winter period, snow layer, winter season, meteostation, snow thickness, MSU, spatial temporal heterogeneities

## References (transliterated)

1. Frolov D.M., Seliverstov Y.G., Sokratov S.A., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E., Nikolaeva E.S. Investigation of the Spatio-Temporal Heterogeneity of Snow Thickness at the Meteorological Site of the Lomonosov MSU in the Winter of 2022/2023 // Arctic and Antarctic. – 2023. – № 1. – P. 1-13. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.1.40448.2 EDN: PGRHXP URL: [https://en.nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=40448](https://en.nbpublish.com/library_read_article.php?id=40448)
2. D.M. Frolov, G.A. Rzhantsyn, S.A. Sokratov, et. al., Monitoring of seasonal variations in ground temperature at the observation site of Lomonosov MSU // E3S Web of Conferences 371, 03004 (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202337103004
3. Proksch M., Rutter N., Fierz Ch., Schneebeli M. Intercomparison of snow density measurements: bias, precision, and vertical resolution // The Cryosphere. 2016, 10(1), 371–384. <https://doi.org/10.5194/tc-10-371-2016>
4. Sturm M., Holmgren J., Liston G.L. A seasonal snow cover classification system for local to global applications // Journ. of Climate. 1995, 8 (5 (Part 2)): 1261–1283. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)0082.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)0082.0.CO;2)
5. Fierz Ch., Armstrong R.L., Durand Y., Etchevers P., Greene E., McClung D.M., Nishimura K., Satyawali P.K., Sokratov S.A. The international classification for seasonal snow on the ground (UNESCO, IHP (International Hydrological Programme) // VII, Technical Documents in Hydrology, No 83; IACS (International Association of Cryospheric Sciences), 2009.
6. Colbeck, S.: A review of the metamorphism and classification of seasonal snow cover crystals, IAHS Publication. 1987, 162, 3–24.
7. Ménard, C. B., Essery, R., Barr, A., Bartlett, P., Derry, J., Dumont, M., Fierz, C., Kim, H., Kontu, A., Lejeune, Y., et al.: Meteorological and evaluation datasets for snow modelling at 10 reference sites: description of in situ and bias-corrected reanalysis data, Earth System Science Data. 2019. 11, 865–880.
8. King, J., Howell, S., Brady, M., Toose, P., Derksen, C., Haas, C., and Beckers, J.: Local-scale variability of snow density on Arctic sea ice // The Cryosphere. 2020. 14, 4323–4339.
9. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Pre-trained Models for SMP Classification and Segmentation. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7063521>.
10. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Automatic snow type classification of snow micropenetrometer profiles with machine learning algorithms // Geosci. Model Dev., 2023.16, 4521–4550, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-4521-2023>.
11. Nguyen, N. and Guo, Y.: Comparisons of sequence labeling algorithms and extensions.

// Proceedings of the 24th international conference on Machine learning, 2007. P. 681–688.

12. Lemaître, G., Nogueira, F., and Aridas, C. K. Imbalanced-learn: A python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning // The Journal of Machine Learning Research. 2017. 18, 559–563. 2017.
13. Schneebeli, M. and Johnson, J. B.: A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy // Annals of Glaciology. 1998. 26, 107–111.
14. Löwe, H. and Van Herwijnen, A.: A Poisson shot noise model for micro-penetration of snow // Cold Regions Science and Technology. 2012. 70, 62–70.
15. Johnson, J. B. and Schneebeli, M. Snow strength penetrometer. US Patent 5. 1998. 831, 161.

## Investigation of methane formation processes during waste disposal in the northern territories

Zabelina Alexandra Victorovna

Practice teacher, ITMO University

197101, Russia, Saint Petersburg, Kronverksky ave., 49

✉ zabelina-eco@mail.ru



**Abstract.** Methane is one of the most significant greenhouse gases. Unlike carbon dioxide, methane is a short – lived greenhouse gas with a lifetime of about 10 years, however, due to significantly higher greenhouse activity (according to scientists, it is at least 25 times greater than that of carbon dioxide), its effect on total global warming is very significant. Global warming processes have the greatest impact on the biosphere and ecosystem of the Arctic territories. The melting of permafrost can lead to changes in soil composition and geological processes. Therefore, the formation of methane in the Arctic and subarctic territories is quite an urgent issue. The purpose of this work is to study the amount of methane released in landfills of municipal solid waste. The article discusses the results of a study of methane formation processes at landfills close to the post-operational period. The data in the work were obtained by applying the technology of drilling an array of municipal waste. The article considered the polygons of the Subarctic and Arctic zones. The paper presents averaged data on the results of methane extraction at various landfills. It was found that the volume fraction of methane in the composition of landfill gas from the waste array disposed of over the past two years can reach 61%. However, in the approved methodology for calculating emissions from landfills of municipal solid waste (MSW), accounting for emissions over the past two years is advisory in nature, which creates prerequisites for adjusting the methodology based on the results of instrumental measurements. The results obtained make it possible to more accurately assess the carbon units obtained by introducing the best available technologies at MSW landfills, which is especially important in the framework of the implementation of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035.

**Keywords:** landfill gases, subarctic zone, climate change, mining, methane, municipal solid waste, emissions, MSW landfill, measurement techniques, Arctic

## References (transliterated)

1. Rosprirodnadzor. Analiticheskie dannye. Statisticheskaya otchetnost': informatsiya ob obrazovanii, obrabotke, utilizatsii, obezvrezhivanii, razmeshchenii otkhodov proizvodstva i potrebleniya // Rosprirodnadzor. [Elektronnyi resurs] URL: <https://rosprirodnadzor.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (data obrashcheniya 2023-10-19).
2. EAA. Waste recycling in Europe. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa : <https://www.eea.europa.eu/ims/waste-recycling-in-europe> (data obrashcheniya: 08.04.2023).
3. McQuibban, Jack. Cities Programme Coordinator at Zero Waste Europe The state of zero waste municipalities report. 2021. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa : [https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR\\_2021-Final.pdf](https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf) (data obrashcheniya: 07.04.2023).
4. Laurieri N. et al. A Door-to-Door Waste Collection System Case Study : A Survey on its Sustainability and Effectiveness // Sustainability. 2020. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5520> (data obrashcheniya: 07.04.2023).
5. Metodika rascheta kolichestvennykh kharakteristik vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu ot poligonov tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov. / M.: AKKh im. Pamfilova, 2004.
6. Travin I., Shmelev A.L. RDF-toplivo. Zarubezhnyi opyt i perspektivy ispol'zovaniya v Rossii. [Elektronnyi resurs]. // Rezhim dostupa: [https://7greenline.ru/novosti/news\\_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivyispolzovaniya-v-rossii](https://7greenline.ru/novosti/news_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivyispolzovaniya-v-rossii) (data obrashcheniya: 06.04.2023).
7. Valineeva A. A., Stepanova T. A. RDF kak al'ternativnyi istochnik energii // Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Inzhenernyi vestnik Dona». № 3. 2020. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377) (data obrashcheniya: 06.04.2023)
8. Calabrò P.S., Komilis D. A standardized inspection methodology to evaluate municipal solid waste collection performance. // J. Environ. Manag. 2019. №246. 184–191.
9. Xue B., Chen X.P., Geng Y., Guo X.J., Lu C.P., Zhang Z.L., Lu C.Y. Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level. // Resour. Conserv. Recycl. 2010. №54. 1296–1302.
10. Seyring N., Dollhofer M., Weißenbacher J., Herczeg M., David M. Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU. // Waste Manag. Res. 2015. №34. 947–956.
11. Yadav V., Karmakar S. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. // Sustain. Cities Soc. 2020, №53. 101937.
12. Rodrigues S., Martinho G., Pires A. Waste collection systems. Part A: A taxonomy. // J. Clean. Prod. 2016. №113. 374–387.
13. Yaman C. Investigation of greenhouse gas emissions and energy recovery potential from municipal solid waste management practices. // Environ. Dev. 2020. №33. 100484.
14. Das S., Bhattacharyya B.K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. // Waste Manag. 2015. №43. 9–18.
15. Stoeva K., Alriksson S. Influence of recycling programmes on waste separation behaviour. // Waste Manag. 2017. №68. 732–741.
16. Casazza M., Huisingh D., Ulgiati S., Severino V., Liu G., Lega M. Product service system-based municipal solid waste circular management platform in campania region

(Italy): A preliminary analysis. // Procedia CIRP. 2019. №83. 224–229.

17. Paes M.X., de Medeiros G.A., Mancini S.D., Bortoleto A.P., Puppim de Oliveira J.A., Kulay L.A. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. // J. Clean. Prod. 2020. №254. 119848.
18. Geospaider. Unikal'naya sputnikovaya set' differentsial'nykh geodezicheskikh stantsii «Geospaider» [Elektronnyi resurs] URL: <http://geospider.ru/> (data obrashcheniya 2023-10-19).
19. Berg-proekt. Otchet o vypolnennykh rabotakh po opredeleniyu ob'emno-plotnostnykh kharakteristik poligona tverdykh bytovykh i stroitel'nykh otkhodov v d. / M. Zamost'e Gatchinskogo raiona Leningradskoi oblasti. SPb.: OOO «Berg-proekt». 2022.
20. TekhnoTerra. 109-23-EI. Otchet po rezul'tatam ekologicheskikh issledovaniy. / SPb.: OOO «TekhnoTerra». 2023.

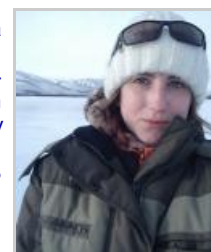
## The ice regime of the northeastern Russia

**Zemlianskova Anastasiia Aleksandrovna**

Laboratory assistant, Laboratory of Monitoring and Forecasting Climate Change and the Environment, North-Eastern State University, Magadan, Russia; Junior Researcher and Postgraduate Student of the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University

685017, Russia, Magadan region, Magadan, Portovaya str., 13

✉ [anastasiazemlanskova@gmail.com](mailto:anastasiazemlanskova@gmail.com)



**Nesterova Nataliia Vadimovna**

PhD in Technical Science

Senior Lecturer at the Department of Land Hydrology at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia; Junior Researcher of State Hydrological Institute

7-9 Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034, Russia

✉ [nnesterova1994@gmail.com](mailto:nnesterova1994@gmail.com)

**Makarieva Olga Mikhailovna**

PhD in Technical Science

Head of Laboratory of Monitoring and Forecasting Climate Change and the Environment, North-Eastern State University, Magadan, Russia; Leading Researcher of Earth Sciences, St. Petersburg University

685000, Russia, Magadan region, Magadan, Portovaya str., 13

✉ [omakarieva@yandex.ru](mailto:omakarieva@yandex.ru)

**Abstract.** Transport links and provision of hard-to-reach settlements and mining enterprises play an important role in the economic development of the Arctic regions. In winter, winter roads are used as transport arteries; their mode of operation depends on the characteristics of the ice. Winter roads are used in Russia, Canada, USA, Finland, and China. Due to climate warming, the timing of the formation of ice cover on rivers is shifting to later times, and in the spring the ice is destroyed earlier. This could affect the delivery of vital supplies to remote regions. According to recent forecasts, it is assumed that heavy vehicles will not be able to use winter roads by the end of the 21st century. The purpose of the study is to analyze changes in the characteristics of ice cover on the rivers of the Northeast of Russia. To do this, a series of data was collected for the period 1940–2018 on the thickness of the ice cover at 80 hydrological stations located in the basins of the Yana, Indigirka, Kolyma rivers, rivers of the

Chukotka Peninsula and the Sea of Okhotsk basin. The catchment areas range from 18.3 to 635,000 km<sup>2</sup>, and the duration of the continuous series ranges from 2 to 67 years. Three statistical nonparametric tests (Mann-Kendall, Pettitt and Theil-Sen) were used for evaluation. The following characteristics were considered: the maximum ice thickness and the date of its formation, the dates when the ice thickness reached 60 and 90 cm. During the period under review, the maximum ice thickness decreased by an average of 40 cm, while the date of reaching the maximum values remained almost unchanged. The period for the formation of river ice with a thickness of 60 and 90 cm, necessary for the passage of cars and trucks, respectively, has shifted by almost a month. The start date of freeze-up occurs on average 3–4 days later, and the end date of freeze-up occurs 5–8 days earlier. On average, the duration of freeze-up decreased by 5–15 days. The results obtained must be taken into account when drawing up the work schedule for winter roads. This is especially important for regions where communication between populated areas and mining enterprises is possible only through river arteries.

**Keywords:** ice reduction, cryosphere, Arctic regions, ice phenomena, aufeis, climate change, ice cover period, winter road, the North-East of Russia, river ice thickness

## References (transliterated)

1. Mullan D., Swindles G., Patterson T., Galloway J., Macumber A., Falck H., Crossley L., Chen J., Pisaric M. Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road // *Theoretical and Applied Climatology*. 2017. Vol. 129. Pp. 1089–1108.
2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok. L.: Gidrometeoizdat. 1969. 282 s.
3. Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Barry R.G., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinsky V.S. Historical trends in lake and river cover in the Northern Hemisphere // *Science*. 2000. Vol. 289. Pp. 1743–1746.
4. Beltaos S., Prowse T. River ice hydrology in a shrinking cryosphere // *Hydrological Processes: An International Journal*. 2009. Vol. 23. No 1. Pp. 122–144.
5. Paromov V.V., Shantykhova L.N. Izmenenie kharakteristik ledovogo rezhima rek basseina Verkhnego Eniseya // *Led i sneg*. 2010. № 2. S. 102–106.
6. Shiklomanov A., Lammers R. River ice responses to a warming Arctic—Recent evidence from Russian rivers // *Environmental Research Letters*. 2014. Pp. 9. 10.1088/1748-9326/9/3/035008.
7. Yang X., Pavelsky T., Allen G. The past and future of global river ice // *Nature*. 2020. Vol. 577. Pp. 69–73. 10.1038/s41586-019-1848-1.
8. Cooley S.W., Pavelsky T.M. Spatial and temporal patterns in Arctic River ice breakup revealed by automated ice detection from MODIS imagery // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 175, Pp. 310–322. doi: 10.1016/j.rse.2016.01.004
9. Jones Ch., Kielland K., Hinzman L. Modeling groundwater upwelling as a control on river ice thickness // *Conference: 19th International Northern Research Basins Symposium and Workshop At: Southcentral Alaska, USA*. 2013. Pp. 107–115.
10. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 17. Leno-Indigirskii raion. L.: Gidrometeoizdat. 1972. 651 s.
11. Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok / Red. E.D. Ershov. M.: Nedra, 1989. 515 s.

12. Atlas gigantskikh naledei-tarynov Severo-Vostoka Rossii / V.R. Alekseev, O.M. Makar'eva, A.N. Shikhov, N.V. Nesterova, A.A. Ostashov, A.A. Zemlyanskova; red. V.V. Shepelev, M.N. Zheleznyak. Novosibirsk: SO RAN. 2021. 302 s. ISBN 978-5-6046428-2-5
13. Gidrologicheskii ezhegodnik. Tom 8. Vyp. 0-7. Bassein morei Laptevykh i Vostochno-Sibirskogo do r. Kolymy (1936-1980) // Yakutskoe upravlenie gidrometeorologicheskoi sluzhby, g. Yakutsk.
14. Gidrologicheskii ezhegodnik. Tom 8. Vypusk 8. Tom 9. Vypusk 7. V-Sibirskoe, Chukotskoe, Beringovo, Tikhii okean (1957-1980) // Kolymское управление гидrometeorологической службы, г. Магадан.
15. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Rossiiskoi Federatsii. Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo, Vypuski 16-17 Ezhegodnoe izdanie. 1981-2007 gg.
16. *Makar'eva O.M., Nesterova N.V., Zemlyanskova A.A.* Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh №2021620268 (ot 12.02.2021) «Tolshchina l'da i vysota snega na malykh, srednikh i bol'shikh rekakh Severo-Vostoka (basseiny rek Yana, Indigirka, Kolyma, Anadyr', basseiny rek Okhotskogo morya i Chukotskogo p-va) 1940-2018 gg.».
17. *Makarieva O., Nesterova N., Post D., Sherstyukov A., Lebedeva L.* Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // *The Cryosphere*. 2019. Vol. 13. Pp. 1635-1659.
18. *Ginzburg B.M.* Sroki zamerzaniya i vskrytiya rek v kontse XX veka i vozmozhnye izmeneniya v XXI veke // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2005. № 12. S. 88-97.
19. *Vuglinskii V.S.* Otsenka izmenenii kharakteristik ledovogo rezhima vodnykh ob'ektov dlya razlichnykh regionov strany v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh // *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle*. 2014. №3. S. 32-45.
20. *Lobanov V.A., Goroshkova N.I.* Kharakteristiki ledovogo rezhima rek Respubliki Sakha (Yakutiya) i ikh klimaticheskie izmeneniya // *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2019. № 55. S. 86-98.
21. *Obyazov V.A., Smakhtin V.K.* Vliyanie izmenenii klimata na rechnoi stok v zimnii period v Zabaikal'e // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2013. №7. S. 95-102.
22. *Agafonova S.A.* Ledovyi rezhim rek arkticheskoi zony Zapadnoi Sibiri v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh // *Arktika i Antarktika*. 2017. № 2. S. 25-33. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.2.22649
23. *Newton A.M.W., Mullan D.* Climate change and Northern Hemisphere Lake and river ice phenology from 1931-2005 // *The Cryosphere*. 2021. Vol. 15. Pp. 2211-2234. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2211-2021>
24. *Gurevich E.V.* Vliyanie temperatury vozdukha na zimnii stok rek (na primere basseina r. Aldan) // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2009. №9. S. 92-99.
25. *Dzhamalov R.G., Potekhina E.V.* Prirodno-klimaticheskie i antropogennye prichiny izmeneniya podzemnogo stoka basseina Leny // *Georazrez*. 2010. № 1. S. 1-25.

## **Morphology of the Buluus, Ulakhan-Taryn aufeis, conditions of its occurrence and stable oxygen and hydrogen isotope variations in the lower part**



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, of. 2009

✉ vasilch\_geo@mail.ru

**Ginzburg Alexander Pavlovich** 

Junior Researcher, Scientific Center for Arctic Studies; Postgraduate student, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences

629007, Russia, Salekhard, Republic str., 20

✉ alexandrginzburg13154@yandex.ru

**Tokarev Igor' Vladimirovich** 

PhD in Geology and Mineralogy

Leading Specialist, Resource Center "X-ray Diffraction Research Methods" of the Science Park of St. Petersburg State University

199034, Russia, Saint Petersburg, Universitetskaya str., 7

✉ tokarevigor@gmail.com

**Budantseva Nadine Arkad'evna** 

PhD in Geography

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

119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory str., 1, office 2007

✉ nadin.budanceva@mail.ru

**Vasil'chuk Alla Constantinovna** 

Doctor of Geography

Leading Scientific Associate, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Geocology of the Northern Territories

119991, Russia, Moscow, Leninsky Gory str., 1, office Z10

✉ alla-vasilch@yandex.ru

**Palamarchuk Valentina Anatol'evna** 

Junior Researcher, Scientific Center for Arctic Studies and Institute of the Earth's Cryosphere of the Tyumen Scientific Center SB RAS

629007, Russia, Salekhard, Republic str., 20

✉ VAPalamarchuk@yanao.ru

**Bludushkina Lyubov' Bakhtiyarovna** 

Junior Researcher, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Geocology of the Northern Territories

119991, Russia, Gorod, Leninskie Gory str., 1, office 10

✉ bludushkina19@mail.ru

**Slyshkina Elena Sergeevna**

Junior Researcher, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Geocology of the Northern Territories

119991, Russia, Gorod, Leninskie Gory str., 1, office 10

✉ lena.slyshkina@gmail.com



**Abstract.** Aufeis is one of the most dangerous natural phenomena. The negative impact of aufeis is determined by the unexpected flooding of the territory and subsequent freezing of water, the formation of ice barriers, the icing of underground structures and communications (mines, tunnels, culverts, and sewer wells), as well as the icing of roads and railways, coastal hydraulic structures, etc. There are cases when explosions of aufeis mounds produce catastrophic disturbances within a few seconds. The aufeis that forms annually in the valley of the Buluus Creek is one of the most famous and studied aufeis of Central Yakutia. The aufeis was sampled from a vertical section. The aufeis is layered, and the thickness of the layers is 3-10 cm. In the upper part of the aufeis, the ice layers are thicker than in the lower. Sampling from the aufeis ice was carried out using a 5.1-cm-diameter steel crown driven by a Bosch electric drill. Measurements of the isotopic composition of oxygen and hydrogen in ice were performed using a Picarro L 2130-i laser isotope analyzer. The isotopic composition of the Buluus ice varies in a narrow range:  $\delta^{18}\text{O}$  values vary from  $-20.2$  to  $-21.9\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H}$  values vary from  $-159.5$  to  $-173.7\text{‰}$ . Generally, the ice is isotopically slightly enriched compared to the surface water of the Ulakhan-Taryn creek, where the  $\delta^{18}\text{O}$  value is  $-22.18\text{‰}$  and the  $\delta^2\text{H}$  value is  $-175.1\text{‰}$ . Groundwater is isotopically close to the creek water; its isotope composition is also isotopically enriched compared to the ice of the aufeis, with  $\delta^{18}\text{O}$  values varying from  $-22.17$  to  $-22.25\text{‰}$  and  $\delta^2\text{H}$  values varying from  $-173.7$  to  $-175.1\text{‰}$ .

**Keywords:** Central Yakutia, middle taiga, cryogenic soils, Lena River, Ulakhan-Taryn stream, Buluus, hydrogen isotope, oxygen isotope, permafrost, aufeis

## References (transliterated)

1. Alekseev V. R. *Naledi* / Otv. red. V. V. Vorob'ev. Novosibirsk: Nauka: Sib. otd-nie, 1987.
2. Alekseev V. R. *Landshaftnaya indikatsiya nalednykh yavlenii*. Institut geografii SO RAN; otv. red. V. A. Snytko. Novosibirsk: Nauka, 2005.
3. Alekseev V.R., Savko N.F. *Teoriya nalednykh protsessov (inzhenerno-geograficheskie aspekty)*. M.: Nauka, 1975. 204 s.
4. Alekseev V.R. Mnogoletnyaya izmenchivost' rodnikovykh naledei-tarynov // *Led i Sneg*. 2016. T. 56. №1. S. 73–92. doi:10.15356/2076-6734-2016-1-73-92
5. Anisimova N.P. Nekotorye osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava ozernogo i nalednogo l'da v Tsentral'noi Yakutii // *Naledi Sibiri*. M.: Nauka, 1969. S. 183–190.
6. *Atlas Yakutskoi ASSR* / Red. T.D. Sivtsev i dr. M.: GUGK SSSR, 1981. 41 s.
7. Baishev N.E., Shepelev V.V., Gagarin L.A. O zakonomernostyakh rasprostraneniya naledei na federal'noi avtodoroze A-360 «Lena» po dannym mul'tispektral'nykh kosmicheskikh snimkov // *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*. 2021. T. 26. №1. S. 60–69. doi: 10.31242/2618-9712-2021-26-1-6
8. Bogomolov N.S., Sklyarovskaya A.N. O vzryvakh gidrolakkolitov v yuzhnoi chasti Chitinskoj oblasti // *Naledi Sibiri*. M.: Nauka, 1969. S. 127–130.
9. Boitsov A.V. *Usloviya formirovaniya i rezhim podzemnykh vod nadmerzlotnogo i mezhmerzlotnogo stoka v Tsentral'noi Yakutii* / Avtoref. dis. kand. geol.-mineral. nauk. Yakutsk: In-t merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2002. 23 s.
10. Vasil'chuk Yu.K., Budantseva N.A., Ginzburg A.P., Vasil'chuk A.K. Stabil'nye izotopy kisloroda i vodoroda v naledyakh doliny reki Vilyui // *Arktika i Antarktika*. 2022. № 1. С. 1–37. doi: 10.7256/2453-8922.2022.1.37931
11. *Vostochnaya Sibir'* // Gidrografiya SSSR. Gl. 23 / Sokolov A.A. 1954.

12. Gagarin L.A. *Dinamika termosuffuzionnykh protsessov v kriolitozone (na primere Tsentral'noi Yakutii)* / Dis. kand. geol.-mineral. nauk. Yakutsk: In-t merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2013. 141 s.
13. Gagarin L.A., Olenchenko V.V., Pavlova N.A. O prichinakh zatukhaniya termosuffuzionnykh protsessov na Bestyakhskoi terrace r. Leny v Tsentral'noi Yakutii // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2023. №5. S. 28–42. doi: 10.31857/S0869780923040045
14. Gagarin L.A., Bazhin K.I., Olenchenko V.V., Ogonerov V.V., Vu Tsinbai. Vyyavlenie uchastkov potentsial'nogo termosuffuzionnogo razuplotneniya grnutov vdol' federal'noi avtodorogi A-360 «Lena» v Tsentral'noi Yakutii // *Kriosfera Zemli*, 2019. T. XXIII. №3. S. 61–68. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-3(61-68).
15. Desyatkin R.V. *Pochvoobrazovanie v termokarstovykh kotlovinakh – alasakh kriolitozony* / Avtoref. dis. dokt. biol. nauk. Ulan-Ude, 2006. 48 s.
16. Desyatkin R.V. Alasnye ekosistemy – osnova razvitiya skotovodstva v surovyykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Yakutii // *Nauka i tekhnika v Yakutii*. 2021. №2(41). S. 13–18.
17. Zaitsev A.A., Kirik O.M., Mikhailov V.S. Vzaimodeistvie rechnogo l'da s ruslom na r. Lene i ee pritokakh // *Eroziya pochv i ruslovye protsessy*. Vyp. 16. M.: MGU. 2008. S. 242–262.
18. Kamaletdinov V.A., Minyuk P.S. Stroenie i kharakteristika otlozhenii Bestyakhskoi terrasy srednei Leny // *Byull. komis. po izuch. chetv. perioda*, №60. 1991. S. 68–78.
19. *Letopis' pogody v Pokrovske* (Yakutiya) [Elektronnyi resurs]. Elektronnyaya baza dannykh «Pogoda i klimat». URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/24856.htm>
20. *Merzlotno-landshaftnaya karta Respubliki Sakha (Yakutiya)* / Gl. red. M.N. Zheleznyak; Yakutsk: In-t merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2018.
21. Murzin A.Yu. Naledi Yakutii // *Nauka i tekhnika v Yakutii*. 2006. №2 (11). S. 100–104.
22. Olenchenko V.V., Gagarin L.A., Khristoforov I.I., Kolesnikov A.B., Efremov V.S. Stroenie uchastka razvitiya termosuffuzionnykh protsessov v predelakh Bestyakhskoi terrasy reki Leny po geofizicheskim dannym // *Kriosfera Zemli*. 2017. T. XXI. №5. S. 16–26. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(16-26)
23. Palamarchuk V.A., Lebedeva L.S., Pavlova N.A., Khairullin R.R., Baishev N.E. Sovremennoe sostoyanie istochnikov podzemnykh vod peschanogo massiva Makhatta, Vostochnaya Sibir' // *Kriosfera Zemli*. 2023. T. XXVII. №4. S. 24–36. DOI: 10.15372/KZ20230403.
24. Petrov V.G. *Naledi na Amursko-Yakutskoi magistrali*. L.: Izd-vo AN SSSR, 1930. 177 s.
25. Pravkin S.A., Bol'shiyanov D.Yu., Pomortsev O.A., Savel'eva L.A., Molod'kov A.N., Grigor'ev M.N., Arslanov Kh.A. Rel'ef, stroenie i vozrast chetvertichnykh otlozhenii doliny r. Leny v Yakutskoi izluchine // *Vestn. SPbGU. Nauki o Zemle*. 2018. T. 63. Vyp. 2. S. 209–228. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.206>
26. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 17. Lensko-Indigirskii raion*. Vyp. 4. Bassein r. Leny ot ust'ya r. Aldan do ust'ya r. Vilyui i bassein r. Vilyui / Red. A.S. Sharoglazov. L.: Gidrometeoizdat, 1964. 128 s.
27. Savvinov D.D., Prokop'ev N.P., Fedorov V.V., Gorokhov A.N., Dmitriev A.I., Pesterev A.P., Gavril'eva L.D., Poiseeva S.I., Arkhipov V.V., Averenskii A.I., Larionov A.G., Bosikov N.P., Kilibaeva O.N., Gabysheva P.E. *Ekologiya alasnykh ekosistem*. Yakutsk, 2002. 68 s.
28. Spektor V.V., Spektor V.B., Boeskorov G.G., Belolyubskii I.N., Bakulina N.T. Periglyatsial'nyi allyuvii tsentral'no-yakutskoi ravniny po dannym izucheniya opornogo

obnazheniya Peschanaya gora // *Vestn. ZabGU*. 2017. T. 23. №5. S. 45–59. DOI: 10.21209/2227924520172354559.

29. Chevychelov A.P. Merzlotnye pochvy Tsentral'noi Yakutii: geografiya, genezis i raznoobrazie // *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu kafedry pochvovedeniya i ekologii pochv TGU «Otrazhenie bio-, geo-, antroposfernykh vzaimodeistvii v pochvakh i pochvennom pokrove»* (Tomsk, 14–19 sentyabrya 2020 g.). Izdatel'skii dom TGU, 2020. S. 98–101.
30. Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. Magnitnaya vospriimchivost' merzlotnykh pochv lesnoi kateny Tsentral'noi Yakutii // *Sibirskii lesnoi zhurnal*. 2021. №2. S. 32– 42. DOI: 10.15372/SJFS20210203.
31. Shepelev V.V. K voprosu o klassifikatsii naledei // *Voprosy gidrogeologii kriolitozony*. Yakutsk, 1975. S. 107–118.
32. Brombierstäudl D., Schmidt S., Nüsser M. Spatial and temporal dynamics of aufeis in the Tso Moriri basin, eastern Ladakh, India // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2023. Vol. 34. Iss. 1. P. 81–93. DOI:10.1002/ppp.2173.
33. Chalov S., Prokopeva K., Magritsky D., Grigoriev V., Fingert E., Habel M., Juhls B., Morgenstern A., Overduin P.P., Kasimov N. Climate change impacts on streamflow, sediment load and carbon fluxes in the Lena river delta // *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 157. 111252. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111252
34. Chesnokova A., Baraër M., Bouchard É. Proglacial icings as records of winter hydrological processes // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. P. 4145–4164. DOI: 10.5194/tc-14-4145-2020
35. Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I. Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in central Yakutia // *Eurasian Soil Science*. 2009. Vol. 42(6). P. 600–608. DOI: 10.1134/S1064229309060039.
36. Crites H., Steve V. Kokelj S.V., Lacelle D. Icings and groundwater conditions in permafrost catchments of northwestern Canada. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. 3283. DOI:10.1038/s41598-020-60322-w 1.
37. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 16. N4. P.436–468. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x
38. Ensom T., Makarieva O., Morse P., Kane D., Alekseev V., Marsh P. (2020). The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2020. Vol. 31. Iss. 3. P. 383–395. DOI:10.1002/ppp.2051.
39. Lacelle D. On the  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and d-excess relations in meteoric precipitation and during equilibrium freezing: theoretical approach and field examples // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. N1. P. 13–25.
40. Lainis A., Neupauer R.M., Koch J.C., Gooseff M. Seasonal and decadal subsurface thaw dynamics of an Aufeis feature investigated through numerical simulations // *Hydrological Processes*. 2024. Vol. 38. Iss. 3. e15106. DOI: 10.1002/hyp.15106.
41. Michel F.A. Isotope characterisation of ground ice in northern Canada // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. N1. P. 3–12.
42. MacDonald A. M., Black A. R., Dochartaigh B. É. Ó , Everest J., Darling W. G., Flett V. D. Peach W. Using stable isotopes and continuous meltwater river monitoring to investigate the hydrology of a rapidly retreating Icelandic outlet glacier // *Annals of Glaciology*. 2016. Vol. 57(72). P. 151–158. DOI: 10.1017/aog.2016.22.
43. Olenchenko V., Zemlianskova A., Makarieva O., Potapov V. Geocryological Structure of a Giant Spring Aufeis Glade at the Anmangynda River (Northeastern Russia) //

- Geosciences. 2023. Vol. 13. 328. DOI: 10.3390/geosciences13110328.
44. Wohl E., Scamardo J. E. (2022). Aufeis as a major forcing mechanism for channel avulsion and implications of warming climate // Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49. e2022GL100246. DOI:10.1029/2022GL100246.
45. Yoshikawa, K., Hinzman L. D., Kane D. L. Spring and aufeis (icing) hydrology in Brooks Range, Alaska // J. Geophys. Res., 2007. Vol. 112. G04S43. DOI: 10.1029/2006JG000294.

## Map of the soil cover of the Olsky section of the Magadan Nature Reserve (Koni Peninsula)

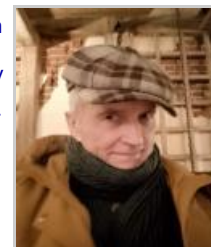
Pavlov Boris Alekseevich

PhD in Biology

P RUS 75 9453607

111033, Russia, Mbscow region, Mbscow, Samokatnaya str., 1, building 2, office 21

✉ borispavlo@yandex.ru



**Abstract.** The object of the study was the unexplored soil cover of the Olsky section of the Magadan Nature Reserve. For this purpose, a route survey was conducted of 12 of the most characteristic tracts of the site available for hiking. The research methods generally accepted in Russian soil science were used.

11 soil subtypes were identified for the first time within the boundaries of the site, among which the most common are soils of the alphegumus and humus–accumulative departments, developing on granitoid derivatives overlain from above by an Aeolian cover of volcanic ash with a thickness of up to 0.25 m.

A soil map has been compiled on which 9 contours of soil cover structures are outlined, among which the most widely represented combinations of ochreous podburs with sod-podburs illuvial-ferruginous ochreous, dry peat-ochreous podzols with ochreous podzols and dry peat-lithozems humus-peat, as well as ochreous gleevate podzols. 11 soil subtypes were identified for the first time within the boundaries of the site, among which the most common are soils of the alphegumus and humus–accumulative departments developing on granitoid derivatives overlain from above by an Aeolian cover of volcanic ash with a thickness of up to 0.25 m. A soil map has been compiled on which 9 contours of soil cover structures are outlined, among which the most widely represented combinations of ochreous podburs with sod-podburs illuvial-ferruginous ochreous, dry peat-ochreous podzols with ochreous podzols and dry peat-lithozems humus-peat, as well as ochreous gleevate podzols. The conclusion is made about the overwhelming influence of Kamchatka volcanism on soil formation and soil cover of the research area.

The obtained results can be used for environmental purposes to replenish information about the environmental components of one of the poorly studied sites of specially protected natural territories of the North of the Far East, as well as in domestic soil science to clarify the genetic features of the influence of Kamchatka volcanism on the land cover of the vast oceanic region of the Pacific Ocean.

**Keywords:** ancient Kamchatka volcanism, the structure of the soil cover, natural areas, environment, soil map, region, Soil science, ochreous subtypes of soils, soil cover, soil

## References (transliterated)



1. Alfimov A.V. Differentsiatsiya temperatur i vertikal'naya poynasnost' poberezh'ya // Landshafty, klimat i prirodnye resursy Tauiskoi guby Okhotskogo morya. Vladivostok: Izd-vo Dal'nauka, 2006. S. 138-156.
2. Andreev D.P., Ignatenko I.V., Mazhitova G.G. Primitivnye organogenno-shchebnistye pochvy Krainego Severo-Vostoka SSSR. Magadan: IBPS DVNTs AN SSSR, 1981, 27 s.
3. Baranova Yu.P., Biske S.F. Istoriya razvitiya rel'efa Sibiri i Dal'nego Vostoka // Severo-Vostok SSSR. M.: Izd-vo Nauka, 1964, 290 s.
4. Berkutenko A.N., Dokuchaeva V.B., Polezhaev A.N. Flora i rastitel'nost' zapovednika «Magadanskii». Vyp. 1. Severookhotskaya chast'. Magadan: SVKNII DVO RAN, 1989. 58 s.
5. Galanin A.A., Glushkova O.Yu., Smimov V.N. Pozdnechetvertichnaya istoriya razvitiya rel'efa, klimata i rastitel'nosti // Landshafty, klimat i prirodnye resursy Tauiskoi guby Okhotskogo morya. Vladivostok: Izd-vo Dal'nauka, 2006. S. 51-69.
6. Geologiya SSSR. Severo-Vostok SSSR. Geologicheskoe opisanie. M.: Izd-vo Nedra, 1970. T. 30. Kn. 2, 536 s.
7. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta. M-b 1:1000000 (novaya seriya) List O-56 – Magadan; R-56, 57 – Seimchan i Ob'yasnitel'naya zapiska. Otv. Red. M.L. Gel'man. SPb.: Izd-vo VSEGEI, 1992. 112 s.
8. Zamolotchikov S.A. Priokhotskii region // Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok. M.: Izd-vo Nedra, 1989. S. 351-362.
9. Zamoshch M.N., Dmitriev A.I., Motorov O.V. Hidrologiya, gidrogeologiya i geokriologiya poberezh'ya // Landshafty, klimat i prirodnye resursy Tauiskoi guby Okhotskogo morya. Vladivostok: Izd-vo Dal'nauka, 2006. S. 157-172.
10. Ignatenko I.V., Bogdanov I.E., Pugachev A.A. Podzolistye Al- Fe-gumusovye pochvy Magadanskoi oblasti // Geografiya i genezis pochv Magadanskoi oblasti. Vladivostok: Izd-vo DVNTs AN SSSR, 1980. S. 123-142.
11. Ignatenko I.V., Naumov E.M., Bogdanov I.E., Mazhitova G.G., Pavlov B.A. Pochvenno-geograficheskoe raionirovanie Krainego Severo-Vostoka SSSR // Pochvy ostrovov i priokeanicheskikh regionov Tikhogo okeana: materialy 16 Tikhookeanskogo nauchnogo kongressa. Vladivostok: Izd-vo DVNTs AN SSSR, 1982. S. 44-96.
12. Ignatenko I.V., Pugachev A.A., Bogdanov I.E. Morfologo-geneticheskaya kharakteristika pochv territorii statsionara // Komponenty biogeotsenozov tundrolesii Severnogo Okhotomor'ya. Vladivostok: Izd-vo DVNTs AN SSSR, 1977. S. 62-10.
13. Ignatenko I.V., Khavkina N.V. Podbury Krainego Vostoka SSSR // Geografiya i genezis pochv Magadanskoi oblasti. Vladivostok: Izd-vo DVNTs AN SSSR, 1980. S. 93-117.
14. Klyukin N.K. Klimat // Sever Dal'nego Vostoka. M.: Izd-vo Nauka, 1970. S.101-132.
15. Kryuchkov V.V. Bezles'e tundrovoi zony Severo-Vostochnoi Sibiri i ego prichiny // Izv. AN SSSR. Ser. Geogr. № 4. S. 97-105.
16. Mazhitova G.G. Pochvy i pochvennyi pokrov zapovednika «Magadanskii». Kava-Chelomdzhinskii uchastok: preprint. Magadan: Izd-vo SVKNII DVO AN SSSR, 1988, 45 s.
17. Melekestsev I.V., Glushkova O.Yu., Kir'yanov V.Yu., Lozhkin A.V., Sulerzhitskii L.D. Proiskhozhdenie i vozrast magadanskikh vulkanicheskikh peplov // Dokl. AN SSSR. T. 317, № 5. 1991. S. 1192.
18. Naumov E.M. Pochvy yuzhnoi chasti Magadanskoi oblasti v predelakh Okhotskogo poberezh'ya // O pochvakh Vostochnoi Sibiri M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. S. 153-195.
19. Naumov E.M. Pochvy severnogo poberezh'ya Okhotskogo morya. Avtoreferat

- dissertatsii kandidata sel'skokhozyaistvennykh nauk. M.: TSKhA, 1968, 20 s.
20. Naumov E.M. Poimennyye dernovyye pochvy Magadanskoi oblasti kak rezerv uvelicheniya pakhotnogo fonda. – Tr. Magadanskogo zonal'nogo NIISKh Severo-Vostoka. T.1. Magadan: Magadanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1970. S. 177-182.
  21. Naumov E.M. Pochvy Magadanskoi oblasti i ikh agrokhimicheskaya kharakteristika // Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR Dal'nii Vostok M.: Izd-vo Nauka, 1971. S. 240-313.
  22. Naumov E.M. Glavnyye tipy geneticheskikh pochvennykh profilei i osobennosti pochvennogo pokrova taezhnoi zony Krainego Severo-Vostoka // Pochvy i rastitel'nost' merzlotnykh raionov SSSR. Mat. V simp. Magadan, 1973. S. 29-41.
  23. Naumov E.M., Gradusov B.P. Osobennosti pochvoobrazovaniya na Krainem Serero-Vostoke Evrazii. M.: Izd-vo Kolos, 1974, 148 s.
  24. Naumov E.M., Gradusov B.P. Osobennosti pochvoobrazovaniya na severnom poberezh'e Okhotskogo morya // Merzlotnye pochvy i ikh rezhim. M.: Izd-vo Nauka, 1964. S. 28-99.
  25. Naumov E.M., Gradusov B.P., Tsyurupa I.G. O taezhnom pochvoobrazovanii na Severo-Vostoke Sibirskoi merzlotnoi oblasti // Pochvennyi kriogenez. M.: Izd-vo Nauka, 1974. S. 34-77.
  26. Naumov E.M., Savich V.I. Allyuvial'nye pochvy Priokhotskikh raionov Magadanskoi oblasti i ikh sel'skokhozyaistvennoe znachenie. // Dokl. TSKhA, 1964. Vyp. 99. S. 87-94.
  27. Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Ser.3. Mnogoletnie dannye. Chast' 1-6. Vyp. 33. Magadanskaya oblast', Chukotskii avtonomnyi okrug Magadanskoi oblasti. L.:Gidrometeoizdat, 1990, 567 s.
  28. Ogureeva G.N. Struktura vysotnoi poyasnosti rastitel'nosti gor Severo-Vostoka Sibiri // Geografiya i prirodnye resursy, 1998, № 2. S. 5-11.
  29. Pavlov B.A. Pochvy i pochvennyi pokrov Yamskogo lesnichestva Goszapovednika «Magadanskii»: preprint. Magadan: IBPS DVO RAN, 1991, 52 s.
  30. Pavlov B.A. Zamoshch M.N. Landshaftnaya struktura poberezh'ya // Landshafty, klimat i prirodnye resursy Tauiskoi guby Okhotskogo morya. Vladivostok: Izd-vo Dal'nauka, 2006. S. 100-116.
  31. Pavlov B.A., Mazhitova G.G. Pochvy i pochvennyi pokrov zapovednika «Magadanskii» // Nauchnye issledovaniya v zapovednike «Magadanskii». M.: ANO Izdatel'skii Dom «Nauchnoe obozrenie», 2015. S. 37-148.
  32. Ponomareva V.V. Krupneishie eksloziyne vulkanicheskie izvezheniya i primenenie ikh tefry dlya datirovaniya i korelyaii form rel'efa i otlozhenii. Avtoreferat disertatsii doktora geograficheskikh nauk. M.: Institut geografii RAN, 2010, 52 s.
  33. Pochvennaya karta Magadanskoi. M-b 1:2500000. Otv. Red. L.L. Shishov. M.: Izd-vo GUGK pri Sovete Ministrov SSSR, 1990. 112 s.
  34. Reutt A.T. Rastitel'nost' // Sever Dal'nego Vostoka. M.: Izd-vo Nauka, 1970. S. 259-299.
  35. Rozanov B.G. Morfologiya pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1983, 320 s.
  36. Targul'yan V.O., Karavaeva N.A., Naumov E.M., Sokolov I.A., Rozov N.N. Pochvy // Sever Dal'nego Vostoka. M.: Izd-vo Nauka, 1970. S. 234-256.
  37. Fridland V.M. Struktura pochvennogo pokrova. M.: Mysl', 1972, 422 c.
  38. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Klassifikatsiei i diagnostikoi pochv Rossii. Smolensk: Izd-vo Oikumena, 2004, 342 s.
  39. Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-

physical approach to quantitative morphology // Geological Society of America  
Bulletin. 1945. T. 56. Vol. 3. S. 275-370.