

Российская Федерация
Ямало-Ненецкий автономный округ
Государственное автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа
«Научный центр изучения Арктики»

ISSN 2587-6996 (печатное издание)
ISSN 2782-5442 (электронное издание)



№ 3 (120)

июль-сентябрь

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК Ямало-Ненецкого автономного округа

Scientific Bulletin
of the Yamal-Nenets
Autonomous District

Salekhard 2023

Научный журнал
Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа
Издается с 1999 года по инициативе Правительства Ямало-Ненецкого
автономного округа
В год 4 номера

Главный редактор

В.С. Исаев — канд. геол.-минерал. наук, Научный центр изучения Арктики (Салехард, Россия).

Редакционная коллегия:

Е.В. Абакумов — д-р биол. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета (Санкт-Петербург, Россия);

Е.В. Агбалян — д-р биол. наук (Тюмень, Россия);

В.Д. Богданов — д-р биол. наук, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, Россия);

Ю.К. Васильчук — д-р геол.-минерал. наук, действительный член РАЕН, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Е.А. Вознесенский — д-р геол.-минерал. наук, профессор, институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (Москва, Россия);

С.Н. Гашев — д-р биол. наук, профессор Тюменского государственного университета (Тюмень, Россия);

А.В. Головнев — д-р ист. наук, профессор, член-корреспондент РАН, Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН (Санкт-Петербург, Россия);

А.А. Егоров — канд. биол. наук, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия);

В.В. Кириллов — канд. биол. наук, Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия);

Р.А. Колесников — канд. геогр. наук, Научный центр изучения Арктики (Салехард, Россия);

И.А. Комаров — д-р геол.-минерал. наук, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Ю.П. Курхинен — д-р биол. наук, профессор, Университет Хельсинки (Финляндия), Карельский научный центр РАН (Россия);

Е.Н. Моргун — канд. биол. наук, Научный центр изучения Арктики (Салехард, Россия);

Д.В. Московченко — д-р геогр. наук, Тюменский научный центр СО РАН (Тюмень, Россия);

Д.А. Петрашова — канд. биол. наук, Кольский научный центр РАН (Апатиты, Россия);

А.Н. Пилясов — д-р геогр. наук, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

А.В. Соромотин — д-р биол. наук, профессор Тюменского государственного университета (Тюмень, Россия);

В.Е. Тумской — д-р геол.-минерал. наук, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (Якутск, Россия);

А.В. Хорошев — д-р геогр. наук, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Л.Н. Хрусталева — д-р техн. наук, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

С.Р. Чалов — д-р геогр. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Д.В. Черных — д-р геогр. наук, Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия);

Г.Ю. Ямских — д-р геогр. наук, профессор Сибирского федерального университета (Красноярск, Россия).

Редакция:

В.В. Пономарев — зам. главного редактора, Научный центр изучения Арктики;

Е.А. Сухова — корректор, Научный центр изучения Арктики.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

- Ильясов Р.М., Пушкарев В.Е., Плесовских К.А.**
Применение аэрофотосъемки и воздушной лидарной съемки для отслеживания изменений ровности дорожного полотна в арктических условиях 6
- Пушкарев В.Е., Плесовских К.А., Печкин А.С.**
Особенности снегонакопления вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым 19
- Синицкий А.И., Тимошенко С.С., Вануйто В.В.**
Обследование технического состояния зданий, построенных в криолитозоне, для оценки их дальнейшей безаварийной эксплуатации 32

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Иванов В.А., Морейдо В.М., Прокопьева К.Н.,
Тарбеева А.М., Колесников Р.А., Чалов С.Р.**
Современные условия гидрологических процессов малых рек юга Ямало-Ненецкого автономного округа 52
- Колесников Р.А., Локтев Р.И., Шинкарук Е.В.,
Моргун Е.Н., Ильясов Р.М., Андреев Г.А.**
Геохимия снежного покрова в поселке городского типа Харп и его окрестностях (Полярный Урал, Ямало-Ненецкий автономный округ) 76

ЭКОЛОГИЯ

Бухарова Ю.А.

Ярутка – масличная культура Крайнего Севера 92

Винокурова Г.В., Кириллов В.В., Лушников С.В., Франк Ю.А.

Водоросли перифитона и бентоса как индикаторы
состояния значительно изменённой экосистемы
озера Самотлор 101

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ,
МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 528.7, 528.952, 625.7

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.001

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ВОЗДУШНОЙ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*Руслан Михайлович Ильясов¹, Владислав Евгеньевич
Пушкарев², Кирилл Александрович Плесовских³*

^{1, 2, 3}Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹frandy@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9071-8574>

²vladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

³plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

Аннотация. При исследовании состояния дорожного покрытия в арктических условиях была применена новая методика получения и обработки информации с помощью аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования. Информация об изменениях дорожного полотна в арктических условиях в современных исследованиях раскрыта недостаточно. Результаты воздушного лазерного сканирования позволяют получить подробную информацию об изменениях дорожного полотна в условиях арктической лесотундры. Для проверки возможностей воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки дорожного полотна был выбран 250-метровый участок дороги Салехард – Надым вблизи города Салехарда. При использовании данного метода была получена цифровая модель местности дороги. Эта модель помогла определить неровности дорожного покрытия. Исследования позволили получить подробную информа-

цию о местонахождении провалов на изучаемых поверхностях дороги с точностью до дециметра.

Ключевые слова: аэрофотосъемка (АФС), высотная лидарная съемка (ВЛС), лазерная съемка, облако точек, ортотрансформирование, 3D-модель, БПЛА, лесотундра, автомобильная дорога Салехард – Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Цитирование: Ильясов Р.А., Пушкарев В.Е., Плесовских К.Е. Применение аэрофотосъемки и воздушной лидарной съемки для отслеживания изменений ровности дорожного полотна в арктических условиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). № 3. С. 6-18. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.001

Original article

USING OF AERIAL PHOTOGRAPHY AND AERIAL LIDAR MAPPING TO TRACK CHANGES IN ROAD EMBANKMENT IN ARCTIC

Ruslan M. Ilyasov¹, Vladislav E. Pushkarev², Kirill A. Plesovskikh³

^{1, 2, 3}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹frandly@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9071-8574>

²vladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

³plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

Abstract. When studying the structure of the road surface in arctic conditions, a new technique for receiving and processing information using aerial photography and airborne laser radiation was applied. Information about changes in the road surface in arctic conditions in low light conditions. The results of airborne laser exposure provide detailed information about changes in the roadway in the conditions of the Arctic forest tundra. To test the possibility of using ground-based laser equipment and aerial photography on the Salekhard-Nadym road, a site was selected in the Priuralsky district, near the city of Salekhard, 250 meters long. A method for obtaining a digital terrain model and a road with decimeter memory is given. These models help to determine the unevenness of the road surface. Studies have revealed detailed information about the location

of accidents on the studied fires on the roads with a probability of up to a decimeter.

Keywords: aerial photography (AFS), high-altitude lidar survey (HLS), point cloud, orthorectification, 3D model, UAV, Salekhard-Nadym highway, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

Citation: R.M. Ilyasov, V. E. Pushkarev, K. A. Plesovskikh Using of aerial photography and aerial lidar mapping to track changes in road embankment in Arctic // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (120). № 3. P. 6-18. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.001.

Введение

Использование технологий аэрофотосъемки (АФС) и воздушного лидарного сканирования (ВЛС) на беспилотных летательных аппаратах становится все более популярным в картографии и геодезии, а с появлением за последние 5 лет относительно доступных для приобретения датчиков типа DJI Zenmuse L1 на российском рынке создало целое научное сообщество исследователей и специалистов, занимающихся обработкой, оптимизацией и улучшением качества получаемых данных. Среди множества исследовательских задач использование этих технологий большей частью концентрируется в промышленной картографии и геодезии, связанных с управлением территориями, кадастром, землепользованием и мониторингом строительства [1, 2]. В данной статье предлагается рассмотреть использование данных АФС и ВЛС в относительно новой для данной методики сфере отслеживания состояния уже имеющегося дорожного покрытия.

Целью статьи является обсуждение и подведение результатов использования нового метода сбора и обработки полевых данных с помощью воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки при исследовании ровности участка дорожного покрытия длиной 250 метров.

Основные задачи исследования:

1. Апробировать особенности применения воздушного лазерного сканирования в лесотундровой зоне с линейными инфраструктурными элементами местности.
2. Рассмотреть возможности использования аэрофотосъемки и воздушной лазерной съемки в контексте мониторинга изменений дорожного полотна.
3. Проанализировать преимущества и недостатки применения АФС и ВЛС данных при измерении ровности дорожного полотна.
4. Определить оптимальные способы проведения аэрофотосъемки и

воздушного лазерного сканирования для анализа ровности дорожного полотна.

5. Выявить геометрические характеристики и наличие деформаций автомобильной дороги и их местоположения с помощью АФС и ВЛС с дециметровой точностью.

6. Предложить рекомендации по необходимости проведения ремонтных работ дорожного покрытия.

Материалы и методы

В ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (далее – Научный центр) как в процессе апробации, так и в постоянной научно-исследовательской работе технология АФС с БПЛА применяется с начала 2016 г. для решения различных задач, таких как авиаучет гнездовых территорий стерхов, пространственная оценка изменений водных объектов, определение ландшафтных характеристик, рекогносцировочное обследование местности и др.

Апробация новой методики воздушной лазерной съемки с БПЛА в Научном центре была применена в 2023 г. в целях геотехнического мониторинга автомобильной трассы Салехард – Надым. Предварительно было проведено 7 обследований различных проблемных участков дороги. Для обсуждения и подведения предварительных результатов использования нового метода в целях оптимизации рабочего времени для примера был выбран самый ближайший и менее трудоемкий участок дороги в районе г. Салехарда (рис. 1).

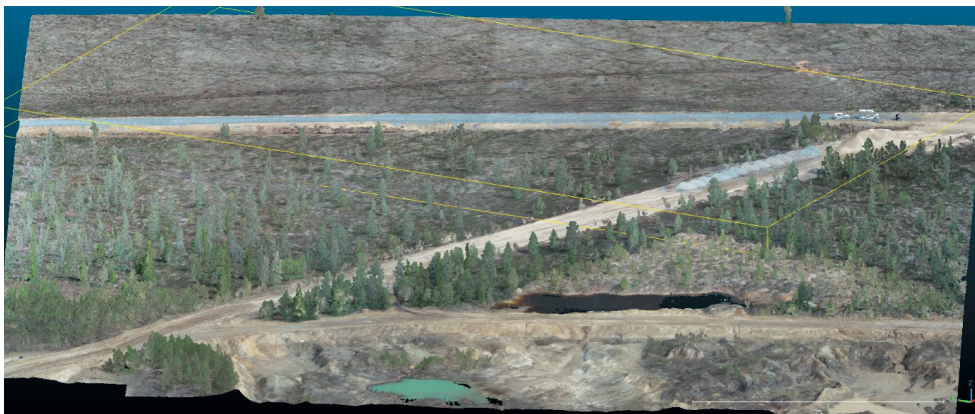


Рис. 1. Облако точек участка съемки, полученное с помощью лидар L1 в цветовой кодировке RGB

Исследуемый участок дороги находится на лесотундровых возвышенных равнинах. Местность сложена кустарничково-моховой тундрой и ело-

во-лиственничным редколесьем с задернованной и заболоченной почвой. В ходе предварительной площадной съёмки на заболоченных участках в восточной части дороги был обнаружен полигонально-жильный рельеф (рис. 2 и рис. 3), согласно которому мы можем предположить, что в районе дороги происходят криогенные деформации: растрескивание сезонно мёрзлого слоя [3].

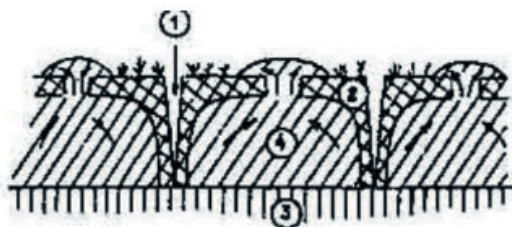


Рис. 2. Схема миграции воды и сортировки обломочного материала:
1 – трещина в сезонномерзлом слое; грунт: 2 – сезонномерзлый,
3 – вечномерзлый, 4 – талый [3]



Рис. 3. Общий вид в надир ортотрансформированного изображения участка съемки

Для получения данных проводилась АФС и ВЛС съемка с помощью беспилотного летательного аппарата Matrice 300¹ с полезной нагрузкой Zenmuse L1 и P1 35mm. Для исследования состояния дорожного покрытия целью применения АФС и ВЛС было получение высокоточных пространственных изображений поверхности исследуемой территории участка с минимально на это затраченным временем. На практике трёх

¹Учётный номер J068087.

предварительных заверочных съемок было выявлено, что полученные облака точек лазерного сканирования и ортотрансформированные данные с высокой степенью разрешения (1,91 см/пиксель) дают возможность обнаружения плановых изменений дорожного полотна в подробных (дециметровых) пространственных масштабах.

Пролёты БВС (беспилотное воздушное судно) были проведены согласно Федеральным правилам использования воздушного пространства Российской Федерации [4] и согласно краткой информации Росавиации о требованиях российского законодательства в части использования воздушного пространства [5]. Полёты осуществлялись на высоте до 50 метров, в светлое время суток, в прямой видимости оператором, вне диспетчерских зон и населённых пунктов. Было осуществлено два полёта не более 10 минут с 30-минутным интервалом по предварительно заданному маршруту. Осуществление двух полётов было продиктовано необходимостью замены полезной нагрузки для АФС и ВЛС съемки. Для примера, воздушная лазерная съёмка составила от начала взлёта до посадки 7 минут 50 секунд полётного времени. Общее расстояние полёта составило 2156 м по 5 галсов с поперечным перекрытием в 45% и с продольным в 70% над территорией площадью 7,9 га (рис. 4).



Рис. 4. Полётное задание для БПЛА над территорией исследования (7,9 га)

Первым направлением работы было создание ортотрансформированного изображения территории площадью 7,9 га в географической системе WGS 84 (EPSG: 4326) с качеством съемки 1,91 см/пиксель. Для получения фотоматериала полёт осуществлялся в надир под углом 90° относительно поверхности земли на высоте 50 м. Полёт составил 8 мин. 42 сек., общее расстояние полёта — 4008 м по 11 галсов в поперечном

перекрытии 70% и в продольном 80%, с фокусным расстоянием 35 мм на камеру DJI Zenmuse P1 и фиксированным решением GNSS-приёмника, что дало возможность после обработки изображений в программе DJI Terra получить дециметровую точность геопозиционирования. Наземных марок для получения опорных точек не предусматривалось, однако контрольными точками послужили полученные GNSS-приёмником наборы пикетажа и отбивка контрольных точек участка дороги. Опорными точками были выбраны высококонтрастные и хорошо заметные объекты на дороге, при этом учитывался триангуляционный метод геодезической съёмки. Полученная реконструкция изображения территории была валидирована в Agisoft metashape с сетью полученных геодезических контрольных точек. Объем полученных данных фотоизображения составил 1,6 Гб [6]. Работа по созданию цельного ортотрансформированного изображения была разбита на 3 этапа [7, 8].

Этап 1. Цветокоррекция. Коррекция контраста и выравнивание цвета растрового изображения (при недостаточности качества полевых материалов) в графическом редакторе без потери геопространственной привязки. Данная работа проводилась с целью приближения объектов на карте к реальной, но не менее контрастной цветопередаче, обеспечивающей различие объектов (корректировка баланса светотени), выравнивание цветов (чтобы в отдельных цветовых категориях было минимальное значение посторонних оттенков) и баланс светотени. Необходимость исправления данных недостатков возникает в результате низкой цветопередачи в пасмурную погоду или избыточного контраста при солнечной. Как правило, это происходило на ровной или относительно одноцветной в видимом излучении поверхности и выражалось в потере резкости объекта и его текстур (исчезновение валунов на песчаном раздуве, потеря резкости контура ржавой бочки на поверхности тундры, сглаживание текстур на относительно гладкой поверхности и т.п.).

Этап 2. Построение изображения поверхности местности в фотограмметрической системе DJI Terra. Данная работа проводится с целью реконструкции аэротриангуляции для последующей её валидации с сетью полученных геодезических контрольных точек на местности. Стоит подчеркнуть, что в отличие от «PHOTOMOD Lite» 6 или Agisoft Metashape добавить в ручном режиме связующие и опорные точки невозможно, программа делает всё автоматически. По окончании работы формируется единое геопривязанное изображение для дальнейшей компоновки и анализа в ГИС [9, 10].

Этап 3. Создание макета карт в геоинформационной системе. На завершающем этапе были выявлены площадные характеристики автодороги на основе ортофототрансформированного изображения, проводилась компоновка полученной мозаики растрового изображения с уже имеющимися

пространственными данными в виде векторной графики (границы, точки, полигоны), были классифицированы дорожные объекты [11, 12].

Вторым направлением работы было создание трехмерной реконструкции исследуемой территории, а также создание плотного облака точек путем воздушной лидарной съемки. Для этого потребовалось 2,2 гигабайта цифровой памяти. Воздушная лидарная съемка выполнялась в надир, под углом 90 градусов к поверхности, на высоте 50 метров.

Данные АФС были реконструированы с помощью программы DJI Terra в облако точек, далее облако точек было обработано и проанализировано в программном обеспечении CloudCompare. На участках без фиксированного решения GNSS-приёмник устанавливался в статическом режиме и независимо от АФС записывал корректирующую информацию геопозиционирования для дальнейшей постобработки и определения десятиметровой точности координат.

Результаты исследования и их обсуждение

При загрузке облака точек в CloudCompare первоочередным предустановленным типом отображения метаданных полученного облака точек в 3D-расширении LAS является диапазон скалярного значения лазерного сканирования и данные видимого спектра облака точек в кодировке RGB (рис. 5). Диапазон лазерного сканирования характеризует отраженный импульс волны в виде изображенного цветового градиента (рис. 4). Данный скалярный атрибут был полезен для контроля качества выполнения полетных заданий, их перекрытия и уточнения количества точек, полученных в результате сканирования поверхности, а также для определения различий отражающих характеристик различных участков поверхности. Согласно техническим характеристикам Zenmuse L1, при наилучших настройках и условиях скорость излучения одного импульса даёт возможность получить отражение 240 000 точек в секунду. Однако нами для оптимизации времени с минимальной потерей качества изображения были выставлены настройки с минимально возможным перекрытием и с максимально возможным количеством отраженных импульсов (три импульса) для определения слабо отражающейся подстилающей поверхности в лесной зоне, было задано 45%/70% перекрытия и повторяющееся сканирование в 160 КHz. Далее при соблюдении всех благоприятствующих условий полёта для съемки (высота, погода, поверхность местности и освещение) мы получили за 7 минут 50 секунд достаточно качественное для анализа ровности дороги плотное облако 54 731 461 точек на 12,5 га лесотундрового участка (рис. 5).

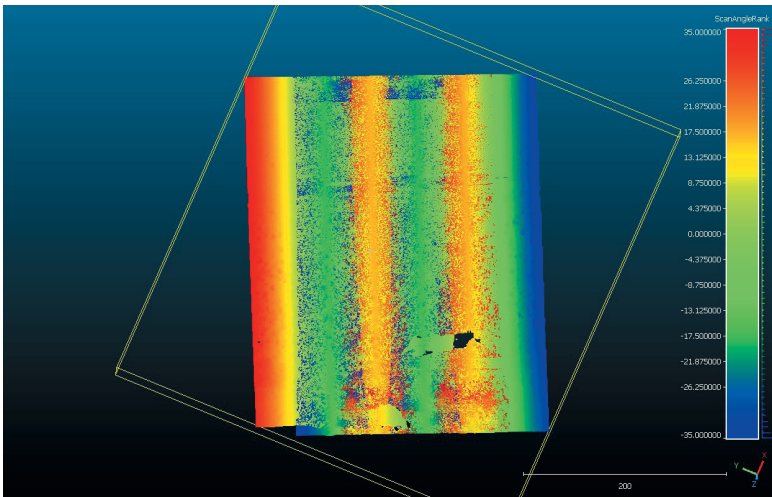


Рис. 5. Классификация угла лидарного сканирования относительно снимаемой поверхности для определения перекрытий и количества полётных галсов

После ручной фильтрации атмосферных шумов и удаления сорных участков с недостаточной плотностью точек на границах изображения нами была получена качественная модель территории в 10 га для дальнейшего пространственного анализа в 40 850 288 точек.

На основе полученной модели были заданы каждой точке дорожного полотна высотные характеристики путём экспорта координат высоты (z) в скалярное значение согласно их классификации по высоте в цветовом градиенте «Red-green-yellow-blue» в порядке увеличения значения высоты (рис. 6).

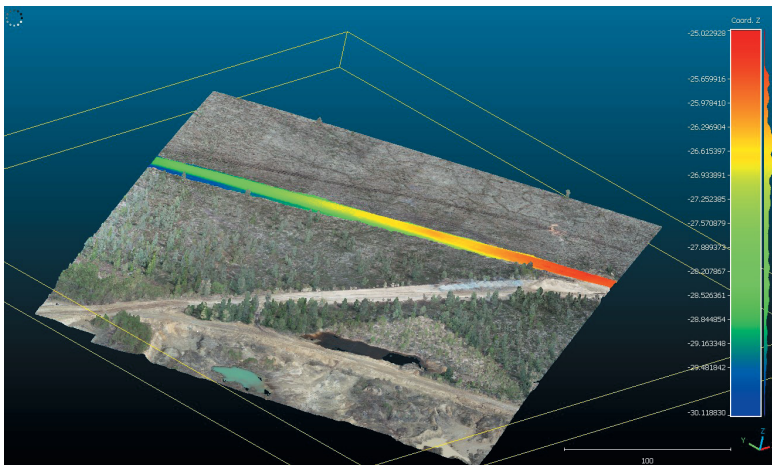


Рис. 6. Изображение высоты насыпи дороги в скалярном значении классификации точек по высоте в цветовом градиенте «Red-green-yellow-blue» (в порядке увеличения значения высоты)

При сравнительном анализе зафиксированных пространственных изменений в ходе полевых работ с пространственной моделью облака точек автодороги были валидированы незначительные отклонения со среднеарифметической ошибкой в 0,1 м. На основе небольшого отклонения можно констатировать, что на основе полученного облака точек мы можем определить наличие деформаций и их геометрические характеристики с дециметровой точностью.

При анализе значения общего перепада участка дороги, согласно полученным данным облака точек (рис. 5), был обнаружен максимальный перепад по оси дороги в 3,5 метра, что является отклонением от плановых значений данного участка дороги. Для определения поперечного перепада высот поверхности автомобильной дороги мы зафиксировали 4 интересующих нас сечения (где перепад наиболее значителен) в понижении (рис. 7 и 8).

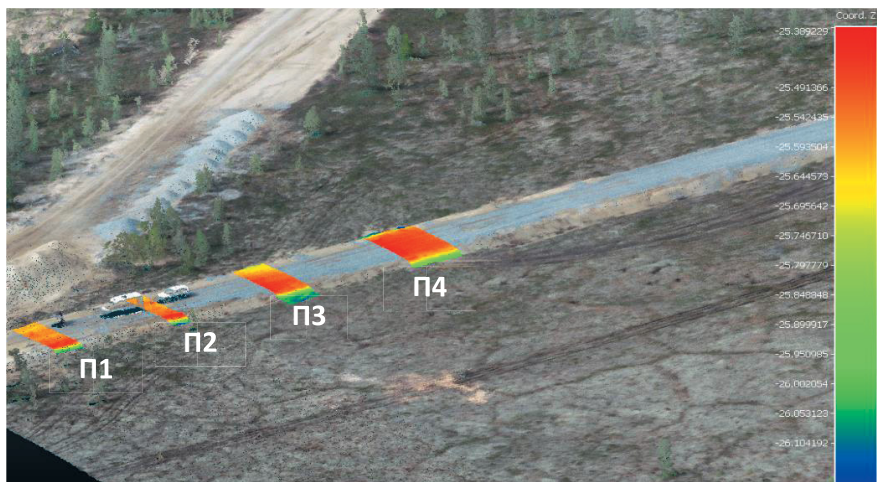


Рис. 7. Общий вид 4 участков поперечных профилей насыпи дороги

При оценке геометрических характеристик всех 4 профилей в поперечном сечении мы фиксируем перепад высот поверхности дороги в 30 см. И если рассматривать данный перепад относительно поперечного сечения плоскости поверхности дороги в трёхмерном пространстве, то можно утверждать, что формируется поперечная просадка, характеризующаяся кривизной плоскости дороги.

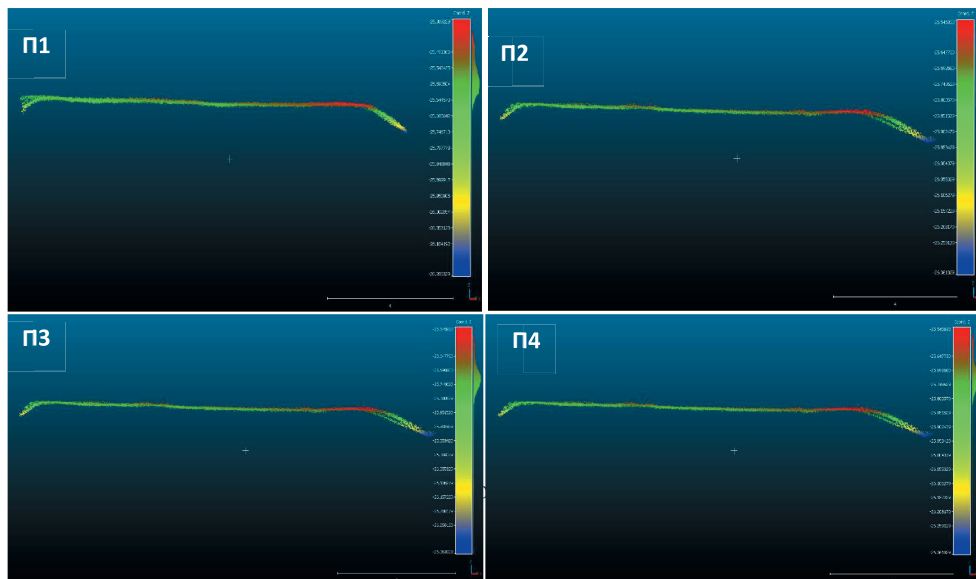


Рис. 8. Изображение 4 участков профилей насыпи дороги в поперечном сечении согласно классификации по высоте в цветовом градиенте «Red-green-yellow-blue» (в порядке увеличения значения высоты)

Заключение

По результатам АФС и ВЛС были апробированы методы фотограмметрического преобразования и воздушной лазерной съемки на отдельных участках автомобильной дороги Салехард – Надым, получены данные пространственных характеристик. Анализ данных показал, что плоскость дорожного полотна существенно подвержена деформации в поперечном направлении.

Фактическим результатом работы стало представление ортофото-трансформированного изображения, 3D-макета и облака точек (общий размер подготовленных материалов составил 3,6 Гб). Результаты анализа пространственных характеристик некоторых участков трассы Салехард – Надым могут быть использованы для определения состояния дорожной поверхности в целях улучшения безопасности дорожного движения и повышения комфорта пассажиров.

Список источников

1. Широкова Т.А., Антипов А.В., Арбузов С.А. Определение изменений на местности с применением данных лидарной съемки // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т. 1. № 4. С. 39-46. 2012.

2. Госьков Е.А., Воробьева Т.С., Воробьев И.Б. Лазерное сканирование в исследовании структуры древостоев верхней границы леса на южном Урале. Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 4-10.
3. Архипов С.А., Исаева Л.Л., Ивановский Л.Н., Суходровский В.Л., Гравис Г.Ф., Волков И.А., Коржуев С.С., Троицкий С.Л., Кулаков А.П., Андреева С.М., Земцов А.А., Мизеров Б.В., Файнер Ю.Б. Проблемы экзогенного рельефообразования. Книга 1. Рельеф ледниковый, криогенный, эоловый, карстовый и морских побережий. М., «Наука», 1976. 450 с.
4. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 (ред. от 02.12.2020) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 09.06.2021).
5. Министерство транспорта Российской Федерации, федеральное агентство воздушного транспорта. Письмо от 14 июня 2017 г. № исх-13154/02 информация по безопасности полетов № 7. Приложение к письму.
6. Сизов О.С., Приходько Н.В., Зах В.А. Опыт применения беспилотных аэрофотосъемочных и батиметрических систем для реконструкции динамики уровня воды в Андреевской озерной системе (Тюменская область) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор С.А. Макаров. 2018, Иркутск.
7. Приходько Н.В., Сизов О.С., Ильященко В.А., Зими́на О.Ю. Опыт использования БПЛА (гексакоптер) для построения высокодетальных моделей рельефа в целях археологических исследований // Третья международная конференция «Археология и геоинформатика» Москва, 24–26 мая 2017 года.
8. Ильясов Р.М. Использование беспилотного летательного аппарата в оценке состояния экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа // Связь климатических изменений с изменениями биологического и ландшафтного разнообразия Арктики и Субарктики. Тезисы докладов международного симпозиума. Отв. редактор А.Ю. Левых, ред. перевода Н.В. Ганжерли. Ишим, 2022.
9. Ильясов Р.М., Колесников Р.А. Практика использования беспилотных летательных аппаратов при проведении мониторинга водных объектов и их водоохранных зон // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа, Салехард, 3 (116), 2022, с. 97-110.
10. Шуваев А.Н., Панова М.В., Пушкарев В.Е., Плесовских К.А. Долговечность цементгрунта в Арктической зоне // Материалы национальной научно-практической конференции «Энергосбережения и инновационные технологии в ГЭК», ТИУ, Тюмень, 2020 г., с. 150-153.
11. Мошева В.В. Применение лазерного сканирования для оценки состояния сельскохозяйственных земель. // 2018.

12. Низаметдинов Н.Ф., Моисеев П.А., Воробьев И.Б. Лазерное сканирование и аэрофотосъемка с БПЛА в исследовании структуры лесотундровых древостоев хибин// 2021.
13. Тартаковская Мария Викторовна. Оценка лесных территорий с использованием данных лидарной съемки // Северный Арктический Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, 2022.

Сведения об авторах

Ильясов Руслан Михайлович в 2018 году окончил аспирантуру РГПУ им. А.И. Герцена. С 2016 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», научный сотрудник. Область научных интересов: геоэкология, ГИС, картография, геодезия, дешифрирование, методы использования беспилотных летательных аппаратов.

Плесовских Кирилл Александрович в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, конструкции земляного полотна с применением геосинтетических материалов.

Пушкарев Владислав Евгеньевич в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, мониторинг автомобильных дорог с применением геофизических методов исследования.

Участие авторов

Ильясов Р.М. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Плесовских К.А. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Пушкарев В.Е. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 06.07.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on July 6, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 3. (120). С. 19-31.

Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. № 3. (120). P. 19-31.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 551.578.42, 551.579.2

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

ОСОБЕННОСТИ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ ВДОЛЬ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ САЛЕХАРД – НАДЫМ

**Владислав Евгеньевич Пушкарев¹, Кирилл Александрович
Плесовских², Александр Сергеевич Печкин³**

^{1, 2, 3}Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹vladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

²plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

³a.pechkin.ncia@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>

Аннотация. По результатам снегомерной съемки на отдельных участках вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым были получены данные распределения и накопления снега. Анализ данных показал, что накопление снежных масс в весенний период существенно влияет на деформацию дорожного полотна в летний период.

Ключевые слова: снегомерная съемка, плотность снега, влагонакпление, автомобильная дорога Салехард – Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Цитирование: Пушкарев В.Е., Плесовских К.А., Печкин А.С. Особенности снегонакопления вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). №3. С. 19-31. doi 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

Original article

FEATURES OF SNOW ACCUMULATION ALONG THE SALEKHARD — NADYM HIGHWAY

Vladislav E. Pushkarev¹, Kirill A. Plesovskikh², Aleksandr S. Pechkin³

^{1, 2, 3}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹frandly@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9071-8574>

²yladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

³plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

Abstract. According to the results of the snow-measuring survey, data on the distribution and accumulation of snow were obtained in certain sections along the Salekhard - Nadym highway. Data analysis has shown that the accumulation of snow masses in the spring period significantly affects the deformation of the roadway in the summer.

Keywords: snow measurement, snow density, moisture accumulation, Salekhard —Nadym highway, Yamal-Nenets Autonomous Okrug.

Citacion: V.E. Pushkarev, K.A. Plesovskikh , A.S. Pechkin Features of snow accumulation along the Salekhard – Nadym highway // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (120). № 3. P.19-31. Doi 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

Введение

Освоение территорий и улучшение качества жизни в Арктических регионах невозможно без устойчивой транспортной сети [1]. В районах с суровыми климатическими и сложными геологическими условиями одной из главных задач органов власти является минимизация и недопущение развития деформаций дорожного полотна с целью обеспечения безопасности дорожного движения [2, 3].

К основным видам деформаций автомобильных дорог относятся просадки грунтов земляного полотна и естественного основания и, как следствие, дорожных одежд [2 - 4]. В основном это связано с потерей несущей способности грунтов из-за переувлажнения, неравномерного изменения глубин залегания сезонно-талого слоя, активизации процессов тепло-

влагообмена и накопление снегозапасов в весенний период [5 - 8]. В этих условиях ухудшается безопасность дорожного движения, увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), снижается скорость автомобильного транспорта, что приводит к резкому уменьшению пропускной способности автомобильных дорог [9 - 11].

Исследование влияния снега на температурное поле мерзлого грунта имеет большое значение для мониторинга линейных объектов. Снежный покров служит хорошим теплоизолятором. Суточные колебания температуры затухают на глубине 30—40 см (у старого снега — на глубине 50 см). При таянии снега колебания температуры происходят только до глубины слоя пропитывания снега водой. Температура тающего слоя остается неизменной, что приводит к разморзанию почвы только после схода снега [12]. Помимо этого, снежный покров, обладая высоким альбедо, существенно снижает поступление коротковолновой радиации к поверхности земли. Вместе с тем снежный покров уменьшает теплообмен между землей и атмосферой, затрудняя отвод тепла в атмосферу [13].

Цель работы — исследование пространственного распределения снежного покрова вдоль отдельных участков автомобильной дороги Салехард — Надым как фактора влияния процессов снегонакопления и снеготаяния на деформации дорожной одежды и земляного полотна.

Материалы и методы

В качестве явных факторов появления деформаций принято считать обводнение основания земляного полотна по причине отсутствия стока поверхностных вод, завышенную крутизну откосов земляного полотна [5, 6].

К неявным факторам относятся особенности рельефа местности, суффозия грунтов, нарушение мохово-торфяного покрова (деградация многолетнемерзлых грунтов), влажность грунтов и утепляющее воздействие снежного покрова в весенне-летний период (вследствие избыточного влагозапаса в весенне-летнем периоде происходят застои воды в различных понижениях рельефа) [8].

Исследования снежного покрова проводились на 1004, 1008, 1018, 1029, 1030 и 1032-м километрах участков дороги Салехард — Надым в первой декаде апреля 2023 г. Высота, плотность и запасы воды снежного покрова измерялись в поперечном профиле автомобильной дороги с шагом 5 метров от оси дороги в обе стороны (с 10 метров от центра дорожного полотна) до 50 метров. Для определения основных физических параметров в снежном покрове проводились измерения на расстоянии 10, 25 и 50 метров от оси дорожного полотна в обе стороны.

Во время снегомерной съемки проводилось морфологическое описа-

ние горизонтов и определялись объемы снегонакопления при помощи весового снегомера ВС-43 [12]. Физические параметры снежного покрова рассчитывались по формулам в соответствии с общепринятыми методами [14].

В период проведения снегомерной съемки на этих же поперечных профилях выполнена бесконтактная электроразведка без контрольного бурения, а также расчет теплопроводности, для которого применяли формулу Н.И. Шендера [2].

Результаты исследования и их обсуждение

По агроклиматическому районированию климат места исследования относится к лесотундровому (1032, 1030, 1029, 1018, 1008-й км) и северотаежному (1004-й км) природным подзонам с суровым ветренным зимним периодом и с дождливым летним [15, 17]. Ближайшая метеостанция расположена в 8 км от г. Надыма в аэропорту (рис. 1).

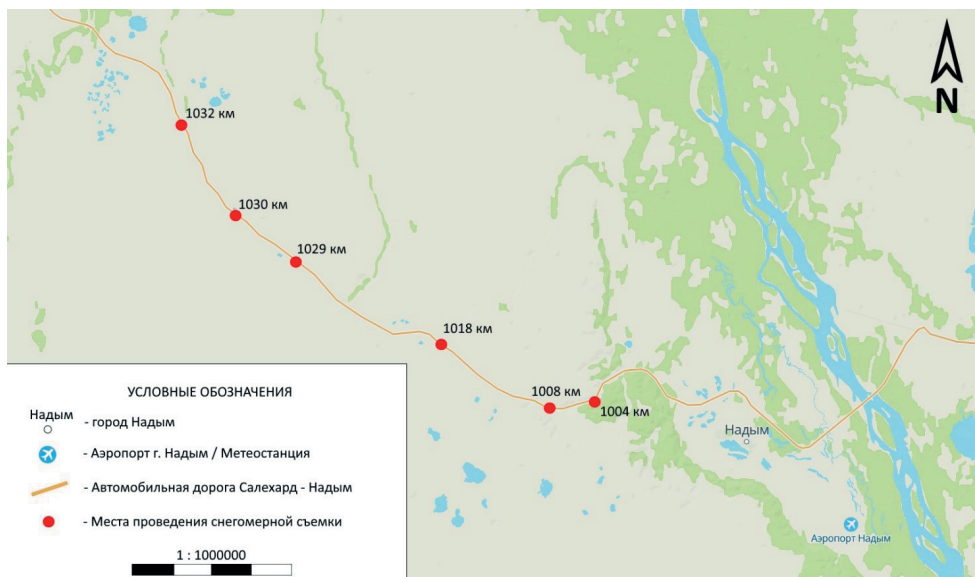


Рис. 1. Схема расположения участков снегомерной съемки

Метеорологические показатели характеризуются низкой среднегодовой температурой воздуха — $-3,6^{\circ}\text{C}$, средней минимальной температурой — $-46,5^{\circ}\text{C}$, средней максимальной температурой — $31,9^{\circ}\text{C}$ [18]. Среднегодовая облачность равна 56%, количество осадков составляет 563,4 мм, число дней с осадками — 255 (табл. 1). Среднегодовое давление составляет 757,7 мм рт. ст., относительная влажность — 78,8%. Среднегодовая высота снежного покрова равна 50,3 см, максимальная среднегодовая высота

снежного покрова достигает 207 см. Самая ранняя дата наличия снежного покрова – 20.09.2010 г., самая поздняя дата наличия снежного покрова – 07.06.2014 г. [19]. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,3 м/с, преобладающее направление ветра – южное и юго-восточное (рис. 2).

Таблица 1. Характеристики температуры воздуха и высота снежного покрова

IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя температура воздуха								
6,2	-2,9	-14,0	-18,8	-23,4	-19,1	-11,7	-4,0	3,0
Максимальная температура воздуха								
23,3	12,9	10,3	0,9	0	1,5	-43,3	-29,3	-19,4
Минимальная температура воздуха								
-9,6	-29,7	-40,3	-49,5	-48,6	-48,4	12,2	11,1	31,4
Среднее количество осадков								
44,8	53,7	46,6	31,6	27,1	23,8	31,6	38,9	42,1
Средняя высота снежного покрова								
2,4	12,0	25,8	44,7	60,2	71,3	79,6	69,7	32,3
Максимальная высота снежного покрова								
5	33	54	85	94	111	110	207	95

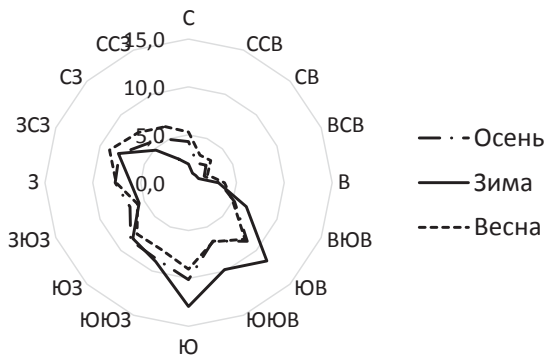


Рис. 2. Направление ветра в г. Надыме (аэропорт)

Распределение и структура снежного покрова зависят не только от интенсивности и длительности выпадения снега, но также от ветрового переноса, который связан с характером рельефа, наличием и типом растительности. По результатам измерения высоты снежного покрова видно, что наибольшее накопление снега происходит у основания земляного полотна (снежный покров достигает высоты до 150 см) в 15 метрах от оси дороги. При отдалении от автомобильной дороги распределение снежной толщи в пределах рассматриваемых участков неравномерно. С южной стороны от дороги в направлении г. Надыма отмечается повсеместное увеличение высоты снега относительно северного направления дороги,

что подтверждает господствующее направление ветра и соответствующее перемещение снежных масс (рис. 3).



Рис. 3. Распределение высоты снежного покрова от центральной оси дорожного полотна по направлению в г. Надым

Для определения плотности снежного покрова (ρ) была применена формула (1):

$$\rho = \frac{m}{10h}, \quad (1)$$

где m – масса снега по снегомеру ВС-43, h – высота снежного покрова.

По результатам расчетов средняя плотность составила $0,28 \text{ г/см}^3$, как таковые различия относительно высоты снежного покрова практически отсутствуют (рис. 4).

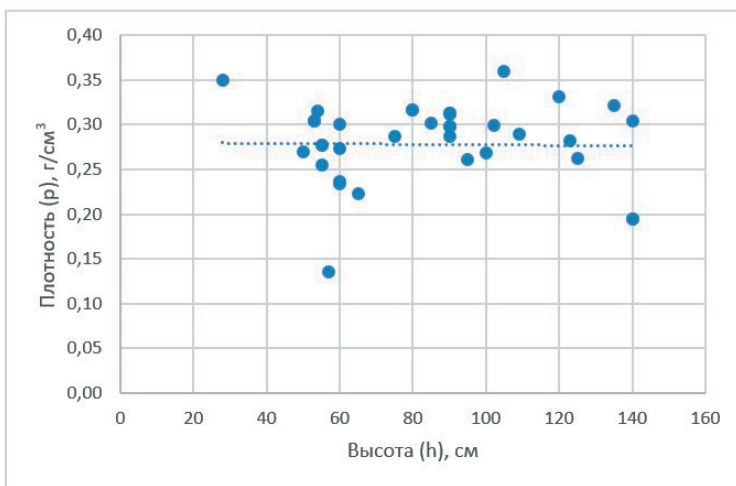


Рис. 4. Зависимость плотности снежного покрова от высоты

Для определения запаса воды (влагозапас) в снежном покрове (E) была применена формула (2):

$$E = 10\rho h \quad (2)$$

Расчеты влагозапаса сопоставимы показателям высоты снежного покрова, максимальные концентрации также наблюдаются у основания дорожного полотна (Рис.5).

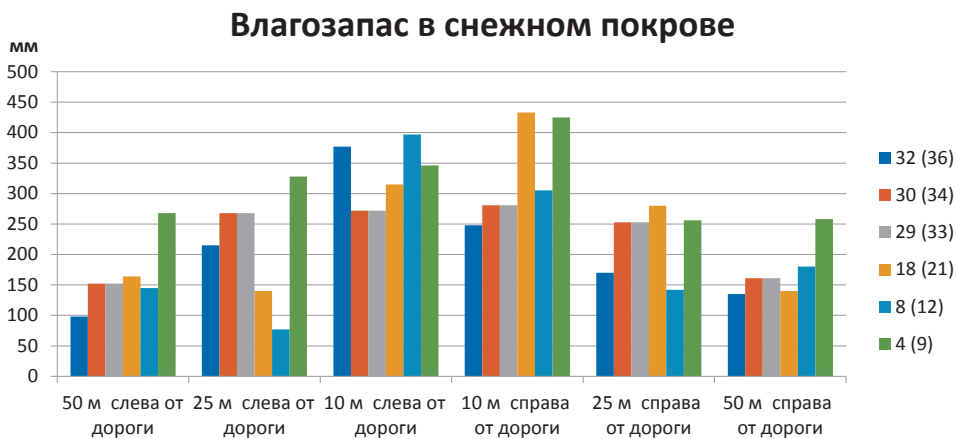


Рис. 5. Распределение влагозапасов снежного покрова от центральной оси дорожного полотна по направлению в г. Надым

Коэффициент теплопроводности дисперсных пород возрастает с увеличением их влажности, поскольку теплопроводность воды и льда выше, чем воздуха [5]. Таким образом, глубина промерзания-протаивания пород с увеличением влажности должна уменьшаться.

Важное значение в формировании мощности слоя сезонного промерзания / оттаивания имеют температурные сдвиги, которые представляют собой разность температур между поверхностью материнских пород и подошвой сезонно-талого слоя. Температурные сдвиги возникают за счет увеличения теплопроводности пород при их переходе из талого в мёрзлое состояние: чем больше льдистость мёрзлой породы, тем больше различие коэффициентов теплопроводности. Это явление объясняется тем, что теплопроводность льда примерно в четыре раза выше теплопроводности воды.

Для расчета теплопроводности применяется формула 3 (Н.И. Шендера). Она получена по результатам расчетов термического сопротивления снежного покрова из натуральных наблюдений за температурным режимом снежного покрова в течение всего зимнего периода в задаче о промерзании грунтов [7, 8]. Температура окружающей среды на момент исследования держалась на уровне $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\lambda = 0,06 + 0,564 * p + 1,31 * p^2, \quad (3)$$

где p – плотность снежного покрова, $\text{г}/\text{см}^3$.

Исходя из результатов измерений теплопроводности, можно сделать вывод, что чем выше плотность, тем выше показатели теплопроводности (рис. 6), но никакой зависимости по расположению от автомобильной дороги обнаружено не было, а среднее значение теплопроводности составило $0,32 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$.

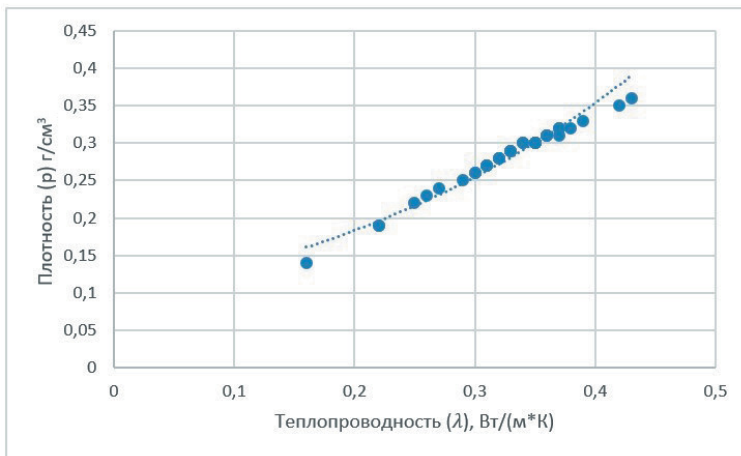


Рис. 6. Зависимости плотности снежного покрова от теплопроводности грунтов

Несмотря на тот факт, что наибольший объем снежного покрова скапливается у основания земляного полотна, в зимне-весенний период наименьшего промерзания в этих местах не наблюдается (рис. 7).

Работы методом бесконтактного измерения ДОЗ-БИЭП выполнялись с использованием аппаратуры ВЕГА. Длина диполей АВ и МН составляла 10 м. Для достижения эффекта зондирования расстояние между центрами диполей ОО' увеличивалось от 10 м до 60 м с шагом 5 м. Метод бесконтактного измерения электрического поля имеет свои преимущества при измерениях в условиях, когда заземление электродов затруднено или невозможно, как в зимний период [20-21].

На участке км 1018 (рис. 7) наблюдается аномальная зона пониженных сопротивлений в земляном полотне, что связано с наличием металлических удерживающих барьерных ограждений, которые являются проводниками.

На участке км 1030 аномалия видна в зимний период времени, она связана с наличием теплоизоляционного материала – пенополистирол «Пеноплэкс». Данный материал является изолятором для тока, в связи с этим прибор фиксировал низкие показатели УЭС под подошвой земляного полотна.

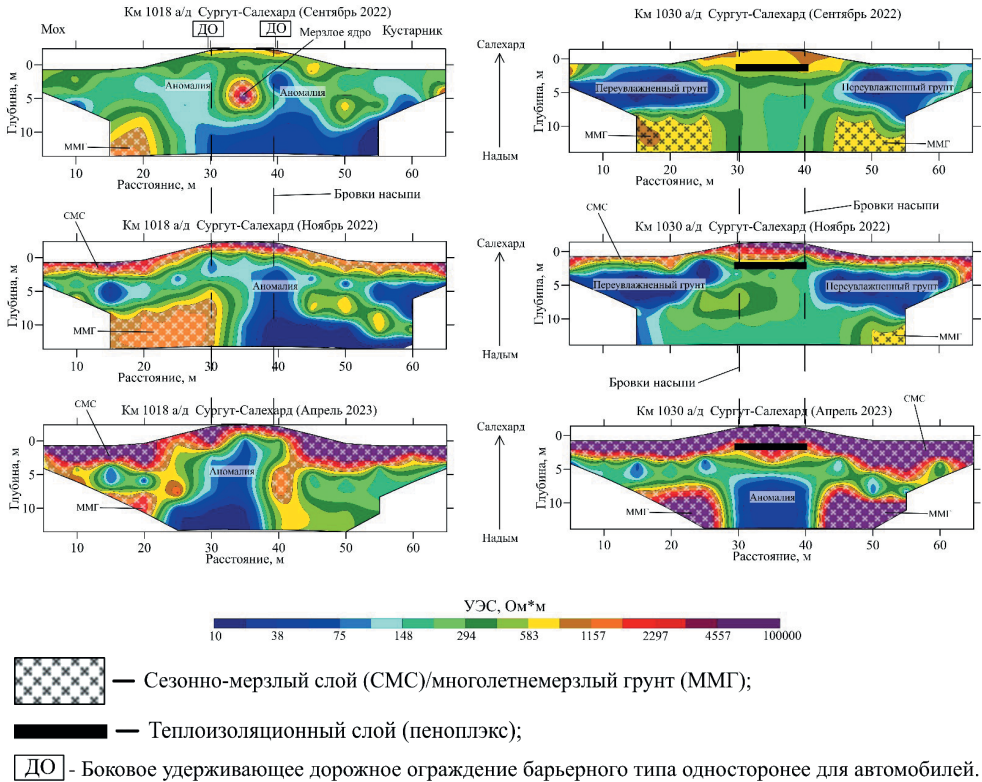


Рис. 7. Поперечные профили удельных электрических сопротивлений на участках км 1032 и км 1018, установка дипольно-осевая

В летне-осенний период в 10 и 25 метрах от дороги на отдельных участках (1008, 1029, 1030 и 1032-й км) наблюдается переувлажнение у поверхности почвенно-растительного покрова. В осенне-зимний период происходит промерзание на поверхности, и влага просачивается в более нижние горизонты грунтов, что, с одной стороны, нейтрализует и сдерживает криотурбированные процессы (выпучивание) под линейными объектами из-за своей пластичности, а с другой стороны, усиливает суффозионные процессы.

Выводы и заключение

Результаты исследования за распределением снежного покрова на отдельных участках вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым показали следующее:

- максимальное снегонакопление наблюдается в период с января по апрель, а наибольшее накопление снега происходит в 10-15 метрах от оси проезжей части;

- господствующее направление ветра в период снегонакопления южное и юго-восточное, чем и выражается неравномерное распределение снежной толщи и увеличение высоты снега относительно правой части дороги в направлении г. Надыма;

- расчеты влагозапаса сопоставимы показателям высоты снежного покрова, а максимальные концентрации наблюдаются у подошвы дорожного полотна;

- средняя плотность снега составляет $0,28 \text{ г/см}^3$ и не зависит от высоты снежного покрова вдоль автомобильной дороги;

- показатели расчета теплопроводности напрямую зависят от плотности снежного покрова и составляют $0,32 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$, но зависимости по расположению от автомобильной дороги обнаружено не было.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что снегонакопление вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым в весенний и весенне-летний периоды является своеобразным тепловым барьером. Однако из-за максимального накопления снежных масс у подошвы земляного полотна и максимального влагозапаса в снеге в этих местах в летний период происходит интенсивная влагоотдача и увеличение сезонно-талого слоя, что непосредственно влияет на оттаивание многолетнемерзлых грунтов и, как следствие, деформации автомобильной дороги.

Список источников

1. Карпушко М.О., Туркова А.О. Влияние климатических условий и физических характеристик снега на зимнее содержание автомобильных дорог под уплотненным снежным покровом. 2017. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, № 1. DOI: 10.15593/24111678/2017.01.04
2. Кириллин А.Р., Железняк М.Н., Жирков А.Ф., Мисайлов И.Е., Верхотуров А.Г., Сивцев М.А. Особенности снегонакопления и параметры снежного покрова на Эльконском горном массиве // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 7. С. 62-76. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-7-62-76
3. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Черкасов А.М. Технологический мониторинг сооружения земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте. // Сб.: II Международный симпозиум земляного полотна в холодных регионах. Материалы симпозиума / Под ред. А.Л. Исакова и Ц.К. Лю. – 2015. – С. 41–48.
4. Молев Ю.И. Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: дис. ... д-ра техн. наук. – Владимир, 2007. – 376 с.
5. Шапран В.В. Факторы, оказывающие влияние на развитие продоль-

- ных профильных деформаций земляного полотна в криолитозоне / В.В. Шапран, З.Т. Фазилова // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18, № 2 (87). – С. 82-101. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-82-101. – EDN WZNPPP.
6. Бабкин Е.М., Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Хайруллин Р.Р., Бабкина Е.А. Изменение рельефа торфяника с вытаивающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья // Проблемы региональной экологии. – 2018. – Т. 4. – С. 115–119.
 7. Фазилова З.Т., Шапран В.В., Скворцов О.В. Профильные деформации земляного полотна в условиях вечной мерзлоты // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 22–24.
 8. Кудрявцев С.А., Кажарский А.В. Численное моделирование процесса морозного пучения и оттаивания в зависимости от скорости промерзания грунтов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 2. – С. 105–110.
 9. Жалко М.Е. Влияние эффективности работы дренажной системы автомобильной дороги на безопасность дорожного движения / Жалко М.Е., Соловьев А.В. // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 6 (25). – С. 91. – EDN ТТНКQN.
 10. Глагольев А.А. Разработка комплексной защиты земляного полотна автодорог от переувлажнения атмосферными сточными водами. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.23.11)/ Глагольев Алексей Анатольевич. – Воронеж, 2007 – 25 с.
 11. Семенова Т.В. Совершенствование метода проектирования системы поверхностного водоотвода автомобильных и городских дорог по условиям обеспечения безопасности движения. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.23.11)/Семенова Татьяна Викторовна. – Омск, 201 – 25 с.
 12. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Труд. Красного Знамени гидрол. ин-т. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1960. – 171 с. : ил. ; 22 см. – Библиогр.: с. 162-168.
 13. Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона: метод. рук-во. – Красноярск, 2011. – 64 с.
 14. Зарина Л.М., Гильдин С.М. Геоэкологический практикум: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – 60 с.
 15. Катенарная дифференциация геосистем Надымских сопок (Ямало-Ненецкий автономный округ) / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков [и др.] // Научный вестник Ямало-Ненецкого ав-

- тономного округа. – 2022. – № 3 (116). – С. 80-96. – DOI 10.26110/ARCTIC.2022.116.3.005. – EDN AFYVHA.
16. Observations of the urban boundary layer in a cold climate city / M. Varentsov, P. Konstantinov, I. Repina [et al.] // Urban Climate. – 2023. – Vol. 47. – P. 101351. – DOI 10.1016/j.uclim.2022.101351. – EDN FSCEMO.
 17. Zooming in on Arctic urban nature: Green and blue space in Nadym, Siberia / R. Fedorov, V. Kuklina, O. Sizov [et al.] // Environmental Research Letters. – 2021. – Vol. 16, No. 7. – P. 075009. – DOI 10.1088/1748-9326/ac0fa3. – EDN GBRGQO.
 18. Архив погоды в г. Надым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив погоды в Надыме](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Надыме). Заглавие с экрана (дата обращения: 06.07.2022).
 19. Печкин А.С. Экологический мониторинг снежного покрова города Надым / А.С. Печкин, Е.В. Шинкарук, А.С. Красненко // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2022. – № 4 (117). – С. 52-73. – DOI 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.003. – EDN YBHNZ.
 20. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Том I / под редакцией проф. И.Н. Модина и доц. А.Г. Яковлева – 2-е изд., перераб. и доп. – Тверь: «ПолиПРЕСС», 2018. – 274 с.
 21. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Т. II. Малоглубинная электроразведка/ Под ред. проф. В.А. Шевнина, доц. А.А. Бобачева. – М.: МГУ, 2013. – 123 с. Изд. 2, перераб. и доп.

Сведения об авторах

Пушкарев Владислав Евгеньевич в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, мониторинг автомобильных дорог с применением геофизических методов исследования.

Плесовских Кирилл Александрович в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне,

конструкции земляного полотна с применением геосинтетических материалов.

Печкин Александр Сергеевич в 2013 году окончил Саратовский государственный университет по специальности «природопользование». С 2015 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Надым, Россия), научный сотрудник. Область научных интересов: геоэкология, урбаэкология, геохимия.

Участие авторов

Пушкарев В.Е. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Плесовских К.А. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Печкин А.С. – сбор и первичная обработка материала, работа с текстом.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 06.07.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on July 6, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 550.822: 504.05: 624.131.3

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.003

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ В КРИОЛИТОЗОНЕ, ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЙ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Антон Иванович Синицкий¹, Станислав Сергеевич
Тимошенко², Владимир Валерьевич Вануйто³*

^{1, 2, 3}Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹AISinitskii@yanao.ru

²SSTimoshenko@yanao.ru

³Vovafra@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены материалы натурального обследования капитального трехэтажного строения, одного из социальных объектов города Салехарда. Здание построено в 1980-е годы на многолетнемерзлых грунтах на свайном фундаменте и с вентилируемым подпольем. В ходе визуального осмотра и проведенных полевых работ выявлено, что для безаварийной эксплуатации подобных объектов необходимо строго придерживаться требований по контролю оснований, фундаментов зданий согласно принятым нормативным документам.

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, температура грунтов, свайный фундамент, проветриваемое подполье, визуальный осмотр, мониторинг технического состояния зданий, требования по эксплуатации оснований.

Цитирование: Синицкий А.И., Тимошенко С.С., Вануйто В.В. Обследование технического состояния зданий, построенных в крио-

литозоне, для оценки дальнейшей их безаварийной эксплуатации // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). № 3. С. 32-50. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.003

Original article

INSPECTION OF THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS CONSTRUCTED IN THE CRYOLITHOZONE TO ASSESS THEIR FURTHER TROUBLE-FREE OPERATION

Anton I Sinitsky¹, Stanislav S Timoshenko², Vladimir V Vanuito³

^{1, 2, 3}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹ASinitskii@yanao.ru

²SSTimoshenko@yanao.ru

³Vovafra@yandex.ru

Abstract. The article presents the materials of a full-scale survey of a building in the city of Salekhard. The social facility was built on permafrost in the 1980s on a pile foundation. Visual inspection and engineering-geological surveys have shown that for trouble-free operation it is important to comply with the requirements of regulatory acts on control.

Keywords: permafrost, soil temperature, pile foundation, ventilated underground, visual inspection, monitoring of the technical condition of buildings, requirements for the operation of the foundation.

Citation: Sinitsky A.I., Timoshenko S.S., Vanuito V.V. Inspection of the technical condition of buildings constructed in the cryolithozone to assess their further trouble-free operation // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug. 2023. (120). No. 3. P. 32-50. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.003

Введение

Общий мониторинг технического состояния капитального трехэтажного строения, одного из социальных объектов города Салехарда (далее — детский сад, здание, объект), выполнялся в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 31937-2011 [1], который распространяется в т.ч. на проведение работ по:

- обследованию технического состояния зданий и сооружений для оценки возможности их дальнейшей безаварийной эксплуатации или необходимости их восстановления и усиления конструкций;

- общему мониторингу технического состояния зданий и сооружений для выявления объектов, конструкции которых изменили свое напряженно-деформированное состояние и требуют обследования технического состояния.

Предполагаемый период строительства обследуемого здания детского сада – 1980-е годы. Основание такого вывода – в проветриваемом подполье зафиксирована трещина в свайном ростверке фундамента, маркированная датой 20.10.1987 года. Точный год строительства нам неизвестен. Получить какую-либо проектную документацию на объект в соответствующих службах не удалось.

Важно отметить, что на объекте не установлены сезоннодействующие охлаждающие устройства.

Дополнительно были выполнены работы по проходке и опробованию инженерно-геологических выработок и их документирование в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016 СНиП 11-02-96 [2], ГОСТ 25100-2020 [3].

Сведения и данные об объекте

Фундамент – свайный объединенный ленточным монолитным железобетонным ростверком. Принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений – I, когда многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения, или с допущением их промораживания в период строительства и эксплуатации согласно СП 25.13330.2020, п. 6.1 [4]. Уровень ответственности здания по ГОСТ 27751-2014 – II (нормальный) [5].

В северо-западной части обследуемого участка с внешней стороны здания расположена термометрическая скважина, обустроенная ранее, во времена строительства. В июне 2022 года в проветриваемом подполье здания было выполнено бурение двух инженерно-геологических скважин глубиной 12 м, а в феврале 2023 года дополнительно оборудованы еще три горные выработки, тип бурения – колонковый. Таким образом в контуре объекта расположены шесть горных выработок, пригодных для проведения температурного мониторинга грунтов (рис. 1).

В зимний период 2023 года (февраль-март) был произведен общий мониторинг технического состояния данного капитального здания для выявления объектов, конструкции которых изменили свое напряженно-деформированное состояние за годы эксплуатации. Была также выполнена общая текущая оценка эксплуатации здания в зимнее время. В ходе об-

следования были выполнены следующие виды работ: бурение инженерно-геологических и термометрических скважин в проветриваемом подполье и снаружи здания (5 шт.); установка термометрического оборудования (система автоматического мониторинга мерзлоты «САМ-Мерзлота-Т», производства ИП Кураков С.А.); визуальный технический осмотр проветриваемого подполья и внешний периметр здания с фотофиксацией деформаций свайного фундамента.

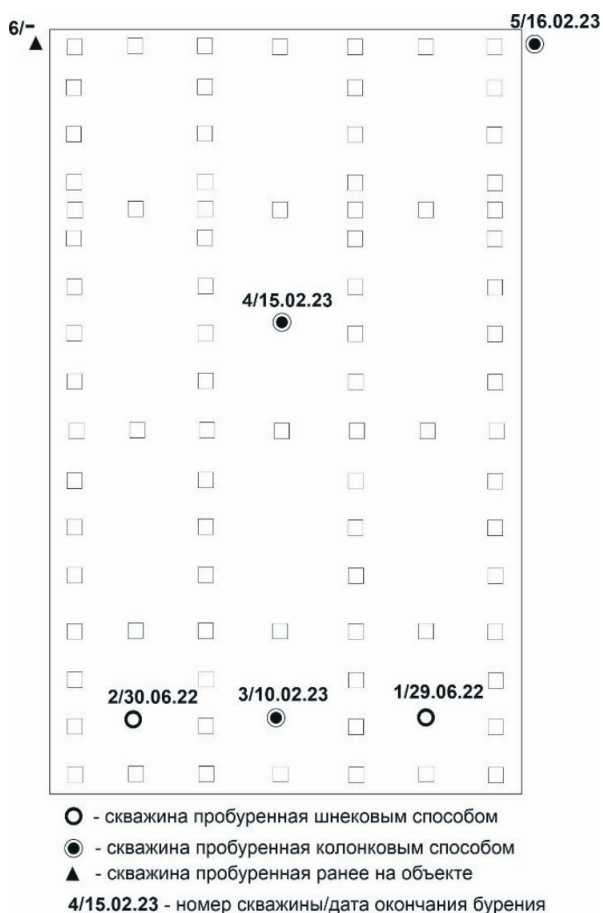


Рис. 1. Схема расположения инженерно-геологических скважин на объекте МБДОУ Детский сад «Золотая рыбка»

Участок работ относится к району II категории сложности инженерно-геологических условий [2].

Территория, где расположено здание детского сада, расположена в центральной части одного из районов г. Салехарда, на высоком правом берегу реки Полуй. Окружающая территория застроена, проложены дороги, коммуникации.

Территория объекта относится к геоморфологическому уровню третьей надпойменной террасы р. Оби (озерно-аллювиальная равнина). Абсолютные отметки в пределах площади изменяются от 22 до 23 метров.

Четвертичный полигенетический сезонно-водоносный горизонт распространен повсеместно на участках залегания многолетнемерзлых грунтов. Основной фактор при выделении этого горизонта – климатический, подземные воды в жидкой фазе содержатся только в теплый период года (около 4 месяцев). Зимой подземные воды полностью промерзают.

Замер установившегося уровня грунтовых вод не производился. Водовмещающими грунтами служат суглинки, пески пылеватые рыхлые и пески мелкие средней плотности, водонасыщенные, водоупорными грунтами служат охлажденные грунты.

Геокриологические условия

Согласно «Карте геокриологического районирования Западно-Сибирской равнины по верхнему горизонту мерзлой толщи» М 1:1 500 000 и атласу ЯНАО (председатель ред. коллегии И.Л. Левинзон, географическая основа 2006 г. М 1:1 3 500 000), район изысканий расположен в Пур-Тазовской геокриологической области, в граничной зоне сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород, которые развиты на всех уровнях, вплоть до пойм средних и мелких рек [6]. Территория исследования характеризуется распространением твердомерзлых, пластичномерзлых и талых грунтов. В зимний период многолетняя мерзлота не соединяется с сезонной (ввиду глубокого залегания многолетнемерзлых грунтов) и таким образом относится к типу «не сливающейся».

Температура грунтов на объекте по замерам в скважинах на конец холодного периода года, апрель 2023, на глубине 3-12 метров изменяется в широком диапазоне от - 0,2 до - 4,5 °С. Глубину годовых нулевых амплитуд на данном объекте определить пока не представляется возможным в связи с коротким наблюдательным периодом за температурой грунтов. Средняя температура грунтов на глубине 12,0 м составляет -0,5 °С.

Следует отметить, что единичные замеры температуры грунтов при изысканиях не могут охарактеризовать всего многообразия температурного режима современного состояния мерзлоты в пределах объекта, и прогноз, составленный на их основе, не всегда достоверен. В этой связи организация непрерывных наблюдений за температурой грунтов оснований на платформе единого информационного портала автоматизированной системы геотехнического мониторинга (далее – АСГТМ ГИС «ЯМАЛ-АРКТИКА») видится единственным правильным решением.

В процессе бурения на объекте установлено, что исследуемые грунты характеризуются следующими криотекстурами: глини-

стые грунты преимущественно слоистой, песчаные – массивной.

Сезонно-мерзлый слой (далее – СМС) представляет собой верхние горизонты толщ соответственно талых грунтов, подвергающихся сезонным температурным преобразованиям. Граница между сезоннотальными и многолетнемерзлыми грунтами условная, т.к. в зависимости от погодных и техногенных условий глубина протаивания – промерзания может изменяться. В связи с этим считаем, что глубины выше 3 метров не рассматривать как показательные при анализе температурных данных.

Оттаивание грунтов начинается со второй половины апреля, после установления положительных температур в дневное время, и продолжается до конца сентября. Промерзание грунтов начинается с начала октября, с момента устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С.

Результаты опробования инженерно-геологических выработок

Основной целью инженерных изысканий является прежде всего обеспечение строительных организаций информацией о комплексе природных условий, т.е. информацией, которая необходима как для обоснования проектно-конструкторских решений, так и производства строительных и инженерных работ [7]. Возникает ряд логичных вопросов: на сколько качественно были выполнены инженерные изыскания в процессе предпроектных работ на исследуемом объекте? Деформации в свайном фундаменте начались в процессе строительства здания или уже на стадии его эксплуатации (рис. 14)? В чем первопричина, вызвавшая деформации? Это нарушения требований к эксплуатации или недобросовестные работы по забивке свай на этапе строительства и т.п.? На эти вопросы ответить уже не представляется возможным, т.к. очевидно, что на объекте в процессе всего его жизненного цикла полноценного геотехнического мониторинга или даже периодических осмотров не проводилось.

В этой связи проведение инженерных изысканий на современном этапе является ключевым фактором при обследовании технического состояния объекта.

Бурение первых двух скважин в проветриваемом подполье осуществлялось в период 29-30 июня 2022 года. Остальные три инженерно-геологические скважины были пробурены с 08 по 16 февраля 2023 года. Все горные выработки имеют глубину 12 м, которые обсажены полиэтиленовой трубой ПЭ-100 SDR 13,6 - 40×3 для оборудования их впоследствии термометрическими косами (рис. 2, 3).



Рис. 2, 3. Буровые работы и выгрузка образцов грунта в проветриваемом подполье объекта исследований, скв. 3

В процессе бурения скважин № 1 и 2 в конце июня 2022 года по всей глубине горной выработки был вскрыт переувлажненный грунт, преимущественно рыхлые, пылеватые, мелкие пески, а также суглинок текуче-пластичный. Бурение осуществлялось шнековым способом, поэтому отбор образцов грунта ненарушенного сложения не представлялся возможным.

Бурение инженерно-геологических скважин № 3, 4, 5 в середине февраля 2023 года, когда проходка осуществлялась уже по мерзлому грунту колонковым способом, позволило отобрать образцы ненарушенного строения (монолиты) и построить полноценный геологический разрез (рис. 4, 5).



Рис. 4. Пример образца грунта ненарушенного сложения, песок средней крупности, мерзлый, криотекстура массивная. В талом виде средней плотности, ожелезненный, интервал 6,2-6,5 м, скв. 4

Описание выработки скв. N 4

Объект: ДС Золотая Рыбка

Местоположение: ул. Салехард, ул. Маяковского, 14.

Способ бурения: колонковое

Ø 108 мм

Абс.отм. 23.00 м

Глубина 12.00 м

Дата бурения: 15.02.2023 г

СТРАТИГР. ИНДЕКС	N ИГЭ	АБС. ОТМ	ГЛУБ. ЗАЛ.	МОЩ- НОСТЬ	О П И С А Н И Е Г Р У Н Т О В		Глубина под вод пойд. уст.
					Литологическое описание	Схематическое изображение	
		22.90	0.10	0.10	Бетон		Воды нет
		21.90	1.10	1.00	Насыпь- Песок мелкий, серо-коричневый, суглинка тугопласт. песчанистый, рыхлый. Сезонномерзлый, криотекстура массивная		
		18.40	4.60	3.50	Сезонномерзлый, криотекстура массивная Песок пылеватый желто-серый, ожелезненный, суглинка тугопласт., рыхлый		
		17.50	5.50	0.90	Пластичномерзлая, криотекстура слаболистовая Глина серая, текучепластичная, ожелезненная		
		13.60	9.40	3.90	Твердомерзлый, криотекстура массивная Песок мелкий серый, ожелезненный, суглинка тугопласт.песчанистого, средней плотности		
		11.00	12.00	2.60	Твердомерзлый, криотекстура массивная Песок мелкий серый, средней плотности		

Рис. 5. Литологическая колонка грунтов оснований в скв. 4

Геологический разрез на объекте представлен озерно-аллювиальными грунтами, преимущественно песчано-суглинисто-глинистым составом. В верхней части разреза, под техногенным грунтом, сложенным мелким песком и мощностью до 1,7 м, залегают песок пылеватый, в летнее время часто водонасыщенный, ожелезненный (глубина подошвы слоя 4,6 – 5,3 м). Иногда границу техногенного грунта и песка природного сложения отличить проблематично.

В средней части разреза преобладают глинистые грунты, которые распространены в интервале глубин от 4,6 до 7,4 м. Наибольшая мощность глин вскрыта в южной части объекта, в скв. 3, здесь она более двух метров. Именно этот глинистый слой предположительно и является природным флюидоупором для сезонно-водоносного горизонта в летний период.

Нижняя часть разреза, с глубины 5,5 – 7,4 м и до глубины изысканий (12,0 м), представлена мелким песком средней плотности, иногда ожелезненного, с прослоями суглинка тугопластичного.

Лабораторных исследований с отобранными образцами грунта нарушенного и ненарушенного сложения на данном этапе исследований не проводилось.

Термометрические измерения в скважинах на объекте

С 15.02.2023 года детский сад оснащён термометрическим оборудованием системы автоматического мониторинга мерзлоты «САМ-Мерзлота-Т» (производство ИП Кураков Сергей Анатольевич, г. Томск). Установлено 5 термометрических кос на глубину 12 метров в скв. 1, 2, 4, 5, 6, охватывающих равномерно всю площадь здания. Измерение, запись и передача значений температуры грунтов происходит в автоматическом режиме и отображается на едином информационном портале автоматизированной системы геотехнического мониторинга ГИС «ЯМАЛ-АРКТИКА» (<https://monitoring.arctic.yanao.ru/newmap/index.html>) (рис. 6).

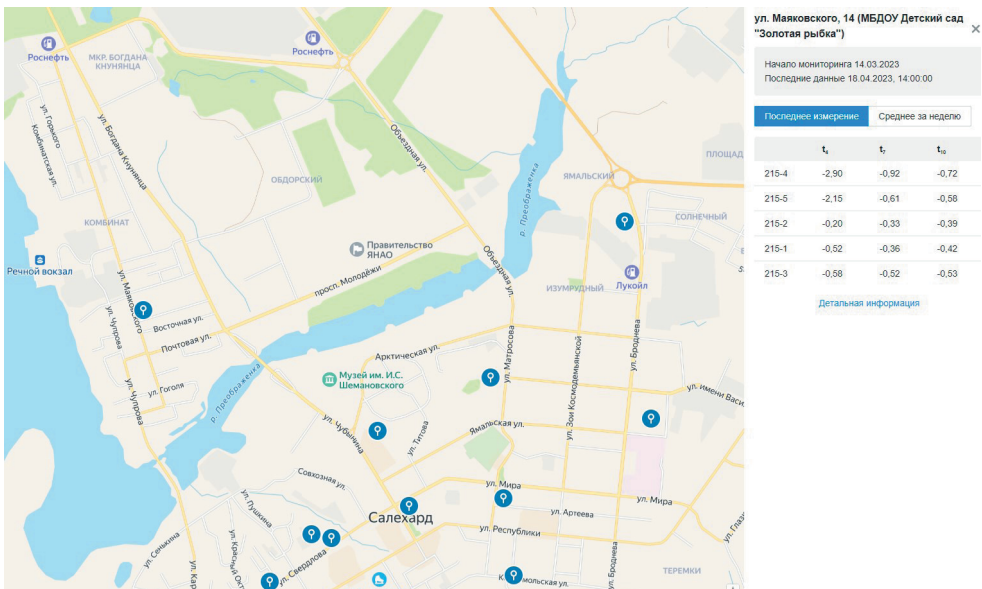


Рис. 6. Информационный портал АСГТМ ГИС «ЯМАЛ-АРКТИКА»

Термометрическое оборудование было установлено в следующем порядке: в скв. 1 – термокоса 215-1; в скв. 2 - термокоса 215-2; в скв. 4 – термокоса 215-3; в скв. 5 – термокоса 215-4; в скв. 6 – термокоса 215-5 (рис. 7 – 10).

Анализ температурных измерений грунтов с 01 по 20 апреля 2023 года, в период, когда они находятся в максимально холодном состоянии, показал, что самая низкая температура наблюдается в северной части здания, в точках установки термокос 215-4 и 215-5. На глубине 3 метра температура здесь отмечена ниже -4°C , а на глубине 6 метров только $-1,4^{\circ}\text{C}$.

Юго-западная часть здания наиболее «теплая», здесь, в точке наблюдения 215-2, зафиксированы самые высокие относительные показатели

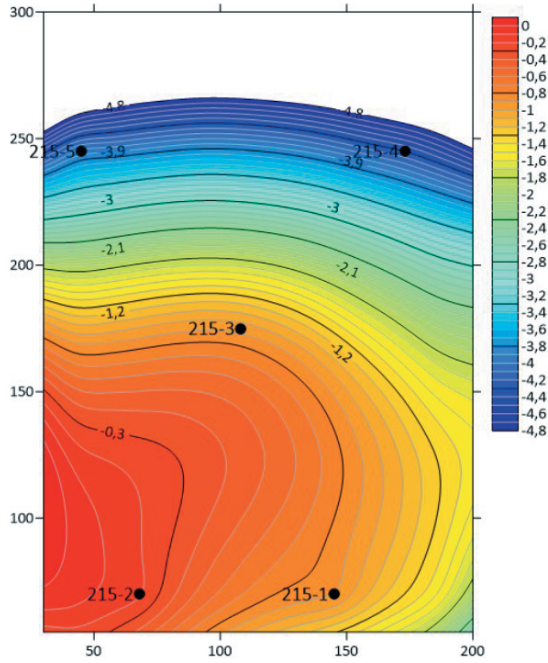


Рис. 7. Температурное поле грунтов под объектом на глубине 3 метров на 20.04.2023 года

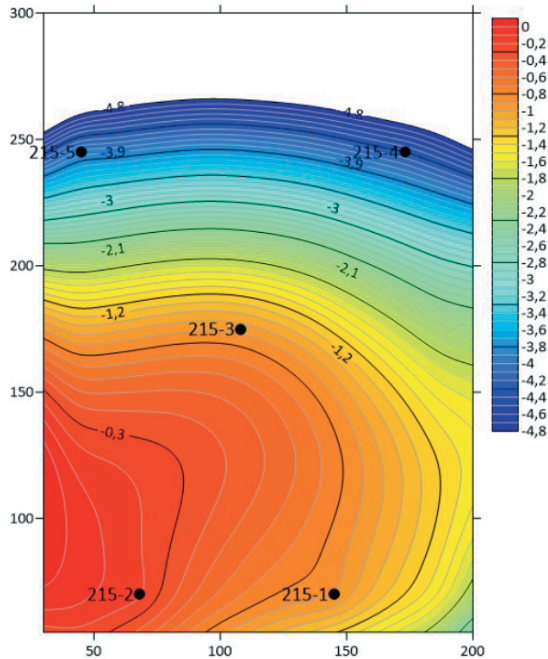


Рис. 8. Температурное поле грунтов под объектом на глубине 6 метров на 20.04.2023 года

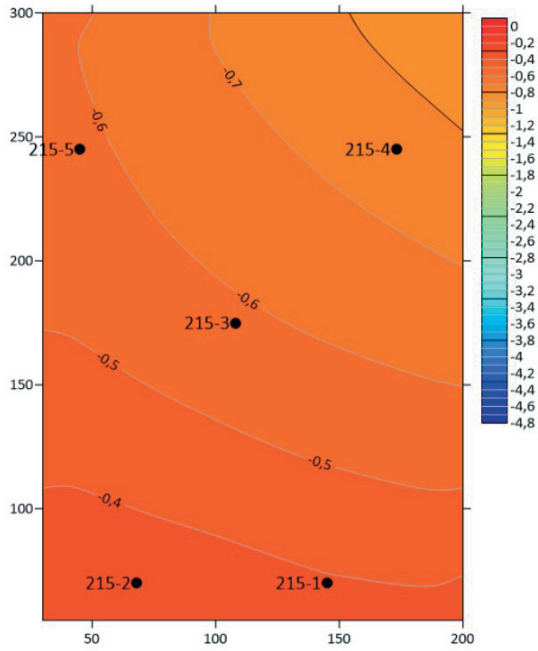


Рис. 9. Температурное поле грунтов под объектом на глубине 9 метров на 20.04.2023 года

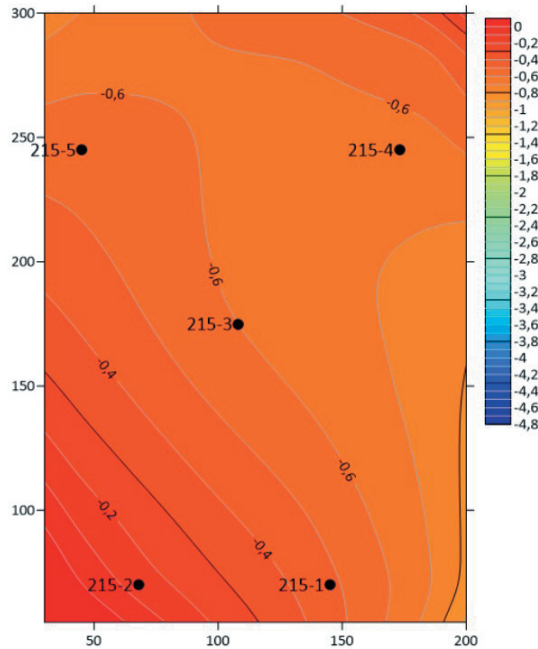


Рис. 10. Температурное поле грунтов на глубине 12 метров на 20.04.2023 года

температуры по всей глубине изысканий, $-0,18$ °С на глубине 3 м и $-0,12$ °С на глубине 12 м. Таким образом с глубиной температура возрастает, а также отмечается выравнивание температурного поля массива грунта под зданием по площади.

На глубинах 9-12 метров фиксируются околонулевые значения, здесь по пяти точкам наблюдения температура грунтов колеблется в узком интервале от $-0,45$ до $-0,75$ °С. В точке 215-2 на 12 м отмечается максимальное значение температуры грунтов, $-0,12$ °С. Юго-западный угол здания имеет повышенные относительные значения температуры по всему разрезу горной выработки.

Результаты общего мониторинга технического состояния капитального строения

Согласно ГОСТ 31937-2011, п. 4.4 [1] обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят в т.ч. при обнаружении значительных дефектов, повреждений и деформаций в процессе технического обслуживания, осуществляемого собственником здания (сооружения).

Обследование фундамента зданий (сооружений), построенных с сохранением вечномерзлого состояния грунтов основания, предпочтительно проводить в зимний период, построенных на оттаивающих и талых грунтах – в летний период года. Период обследования объекта – март 2023 года.

При осмотре свайного фундамента обследуемого здания фиксировались:

- трещины в конструкциях (поперечные, продольные, наклонные и др.);
- оголения арматуры;
- вывалы бетона и каменной кладки, каверны, раковины, повреждения защитного слоя, выявленные участки бетона с изменением его цвета;
- повреждения арматуры, закладных деталей, сварных швов (в том числе в результате коррозии);
- наиболее поврежденные и аварийные участки конструкций фундаментов.

В состав работ по обследованию грунтов оснований здания вошло бурение пяти скважин с отбором образцов грунта нарушенного и ненарушенного сложения.

При обследовании колонн определялись их конструктивные решения, измерялись обнаруженные деформации (отклонение от вертикали, выгиб, смещение узлов), фиксировалось местоположение, расположение и характер трещин и повреждений.

Визуальный осмотр колонн свайного фундамента с помощью строительного пузырькового уровня показал, что практически все сваи южной части здания подвержены отклонению от вертикали (рис. 11, 12).

Наибольшее число трещин в свайном ростверке фундамента зафиксировано в южной и центральной частях здания (рис. 13, 14), здесь же отмечается проседание монолитного плитного перекрытия в основании фундамента.



Рис. 11, 12. Отклонение от вертикали свай фундамента в южной части здания



Рис. 13, 14. Фиксация трещин в ростверке фундамента в центральной и южной частях здания

Общая схема здания с отклонением свайного основания фундамента в генеральном южном направлении представлена на рис. 15.

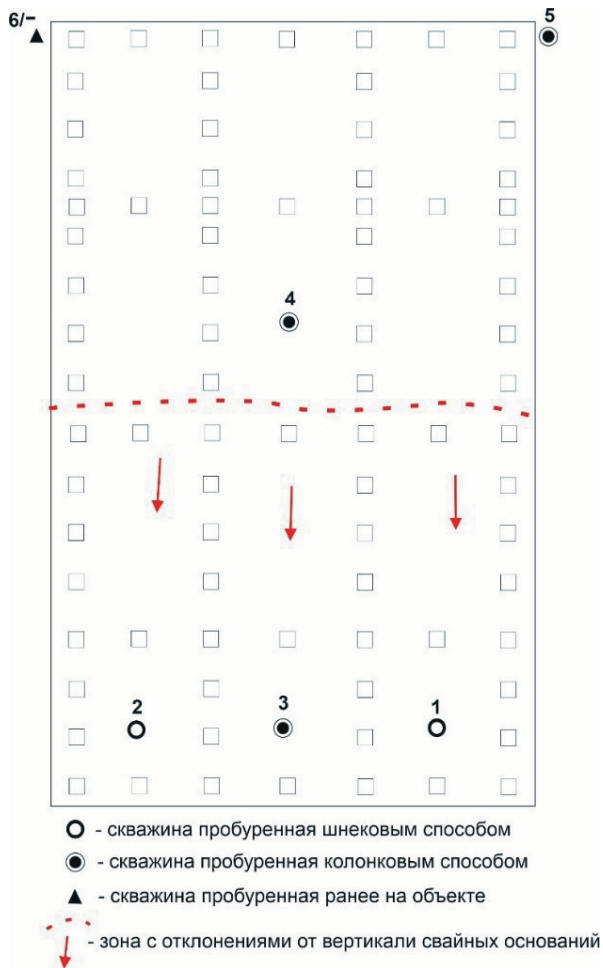


Рис. 15. Схема здания с указанием зоны отклонений свайного основания фундамента в южном направлении

Проветриваемое подполье обследуемого объекта по всему периметру здания практически наглухо огорожено металлическим сайдингом, врезанные редкие вентиляционные отверстия явно в недостаточном количестве, чтобы обеспечить полноценную циркуляцию воздуха внутри. Внутренняя часть подполья частично захламлена, так, в центральной части здания отмечается куча строительного мусора, что может негативно влиять на общий тепловой режим подстилающего основания. Все эти факторы противоречат п. 6.2.1 и 6.2.2 СП 497.1325800.2020 [9], в которых сказано, что проветриваемое подполье должно быть свободным от

посторонних предметов и мусора. Вентиляционные отверстия проветриваемого подполья, предназначенные для свободного циркулирования наружного воздуха в течение года, должны быть открытыми. Фактически в зимнее время периметр изучаемого объекта вплотную к стенам завален снегом, собранным с дворовой территории, тем самым создавая свой, относительно теплый, микроклимат в подполье и препятствуя в нем свободной циркуляции воздуха (рис. 16).



Рис. 16. Недопустимое складирование снега по периметру здания, завал вентиляционных отверстий

Обсуждение (дискуссия)

Так что же делать с подобными капитальными объектами, если оценка дальнейшей их безаварийной эксплуатации признана неудовлетворительной? Проводить капитальный ремонт, реконструкцию объекта или же единственным решением будет его снос? А.Н. Пилясов в своей статье отмечает, что даже при наименьшем реалистичном сценарии изменения климата ущерб от деградации многолетней мерзлоты в рассматриваемой выборке из шести арктических городов (в т.ч. г. Салехард) может составить 13,6 млрд руб., или 3,5% от всего жилого фонда. При максимальном сценарии под угрозой окажется 59,7% жилого фонда стоимостью 232 млрд руб. Предотвратить потерю жилого фонда можно путем проведения капитальных ремонтов, однако при сильном увеличении их периодичности их стоимость превысит стоимость жилого фонда под угрозой обрушения.

Окончательный вывод о целесообразности выбора того или иного варианта действий (поддержка функционирования многоквартирных домов (далее – МКД) или постепенная замена их новыми) зависит от необхо-

димой частоты проведения капитальных ремонтов при деградации многолетней мерзлоты. Если увеличение частоты будет незначительно, тогда проведение капитальных ремонтов будет выгоднее. Если ремонт придется проводить в 1,5 и более раза чаще, то выгоднее постепенно заменять МКД под угрозой обрушения новыми вместо проведения учащенных капитальных ремонтов [8].

Выводы

1. Массив грунтов под объектом в зимний период находится в мерзлом состоянии. В летний период, когда бурились скв. 1 и 2, грунты по всей глубине изысканий представлены в талом виде и преимущественно водонасыщенные.

2. Северная часть здания заметно «холоднее», чем южная. Так, в точке наблюдения 215-2 (юго-западный угол здания) зафиксированы самые высокие относительные показатели температуры по всей глубине изысканий ($-0,18^{\circ}\text{C}$ на глубине 3 м и $-0,12^{\circ}\text{C}$ на глубине 12 м). На глубинах 9-12 м температурное поле грунтового массива выравнивается и имеет разброс в показаниях не более $0,4^{\circ}\text{C}$ между скважинами.

3. Южная часть здания, приуроченная к наиболее «теплым» грунтам, подвержена сползанию в южном направлении, что отражается в отклонении свайного фундамента от вертикали. Наибольшее число трещин в свайном ростверке фундамента зафиксировано в центральной и южной частях здания.

4. Общую негативную ситуацию по объекту усиливают зафиксированные нарушения требований к эксплуатации проветриваемых подполий естественной и принудительной вентиляции согласно СП 497.1325800.2020, п. 6.2 [9]. Так, в течение всего зимнего периода периметр изучаемого объекта вплотную к стенам завален снегом, собранным с дворовой территории, тем самым создавая свой, относительно теплый микроклимат в подполье, что препятствует свободной циркуляции воздуха.

5. Проветриваемое подполье по всему периметру здания практически наглухо огорожено металлическим сайдингом, врезанные редкие вентиляционные отверстия явно в недостаточном количестве, чтобы обеспечить необходимую циркуляцию воздуха.

Рекомендации

1. Организовать проветриваемое подполье свободным от посторонних предметов и мусора. Размещение в проветриваемом подполье складских, подсобных и иных помещений не допускается.

2. Вентиляционные отверстия проветриваемого подполья, предназначенные для свободного циркулирования наружного воздуха в течение

года, должны быть открытыми. Вентиляционные отверстия осматриваются в зимний период не реже одного раза в месяц и дополнительно после снегопадов и при необходимости очищаются от снега.

3. Систематическую очистку от снега следует проводить вокруг здания шириной не менее 2 м для обеспечения свободного проветривания проветриваемого подполья. При очистке территории от снежных заносов снег должен вывозиться за пределы территории. Снегоуборка не должна приводить к скоплению снежной массы в непосредственной близости от зданий.

4. Обеспечить в проветриваемом подполье объекта постоянную циркуляцию наружного воздуха в зимний период. А летом проветриваемые каналы должны быть, наоборот, герметично закрыты.

5. Предусмотреть на объекте мероприятия инженерной защиты от подтопления в соответствии с СП 104.13330.2016 [10], СП 116.13330.2020 [11], в частности, обустройство дренажа, способного перехватывать инфильтрационные воды, поступающие как с поверхности, так и в виде прогнозируемых утечек из коммуникаций.

6. Предусмотреть обустройство проветриваемого подполья системой искусственной вентиляции в соответствии с климатическими условиями района строительства по СП 131.13330.2020 [12].

7. Произвести комплексную оценку текущего состояния грунтового основания объекта и прилегающей территории (с акцентом на его южную часть) с помощью единственно возможной в данных условиях технологии статического зондирования мерзлых и талых дисперсных грунтов, состав и состояние которых позволяют выполнять непрерывное внедрение зонда. Цель – диагностика состояния грунтового основания, изучение инженерно-геологических условий территории объекта, составление прогноза возможных изменений в сфере взаимодействия объекта с геологической средой в соответствии с СП 25.13330.2020, Приложение Л. «Определение состояния, свойств и несущей способности оснований свай в многолетне-мерзлых грунтах по результатам статического зондирования» [4]. Геотехнический контроль с помощью статического зондирования регулируется СТО 36554501-049-2016 [13].

Список источников

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
2. СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.

3. ГОСТ 25100-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация.
4. СП 25.13330.2020. Свод правил. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
5. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
6. Атлас ЯНАО, председатель ред. коллегии И.Л. Левинзон, географическая основа 2006 г. М 1:1 3 500 000.
7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: издание второе, дополненное и переработанное / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – С. 13.
8. Пилясов А.Н. Города азиатской Арктики в условиях новых вызовов изменений климата и пандемии Covid-19 / А.Н. Пилясов, Н.Ю. Замятина, А.Е. Поляченко, Б.В. Никитин // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2022. – № 2 (115). – С. 127.
9. СП 497.1325800.2020. Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила эксплуатации.
10. СП 104.13330.2016. Свод правил. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.
11. СП 116.13330.2020. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003.
12. СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.
13. СТО 36554501-049-2016. Применение статического зондирования для контроля оснований в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

Сведения об авторах

Синицкий Антон Иванович, горный инженер, окончил государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина в 2003 г., кандидат геолого-минералогических наук (2008), ведущий научный сотрудник сектора геотехники ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Опыт работы на Ямале 14 лет, в т.ч. в региональном отделе ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по научному и техническому сопровождению комплексного освоения месторождений полуострова Ямал и прилегающих акваторий. Эксперт комиссии по вопросам разработки месторождений полезных ископаемых при Ямалнедра. Сфера научных интересов: геотехника в криолитозоне, изучение трансформации многолетнемерзлых пород под влиянием климатических изменений и антропоген-

ной нагрузки; геокриологический мониторинг, проектное управление. **Тимошенко Станислав Сергеевич**, начальник производственного отдела, участка инженерных изысканий ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», студент заочного отделения 2-го курса ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет», специальность «юриспруденция»: магистр права, специалист в области мониторинга технического состояния капитальных строений, буровой мастер. Сфера научных интересов: геотехника в криолитозоне, вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике.

Вануйто Владимир Валерьевич, техник-геолог производственного отдела участка инженерных изысканий ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», студент заочного отделения 1-го курса ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», специальность «прикладная геология». Сфера научных интересов: геотехника, инженерные изыскания и мониторинг грунтовых условий в криолитозоне.

Участие авторов

Синицкий А.И. – обследование проветриваемого подполья и фундамента здания, сбор и обработка полевых материалов, написание текста статьи.

Тимошенко С.С. – организация проведения полевых работ на объекте, организация производственного процесса по обустройству и опробованию инженерно-геологических выработок, обследование проветриваемого подполья и фундамента здания, работа с текстом.

Вануйто В.В. – работа полевого геолога на объекте, обустройство и опробование инженерно-геологических выработок, описание грунтов оснований в ходе буровых работ, построение геологических колонок скважин.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 24.08.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on August 24, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 911.2

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.004

СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАЛЫХ РЕК ЮГА ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Виктор Алексеевич Иванов¹, Всеволод Михайлович Морейдо², Кристина Николаевна Прокопьева³, Анна Михайловна Тарбеева⁴, Роман Александрович Колесников⁵, Сергей Романович Чалов⁶

^{2, 4, 6}Лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^{1, 2, 3, 6}Кафедра гидрологии суши, географический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

²Институт водных проблем, Москва, Россия

¹viktoro.1998@yandex.ru

²vsevolod.moreydo@iwp.ru

³prokris3@mail.ru

⁴amtarbeeva@yandex.ru

⁵roman387@mail.ru

⁶hydroserg@mail.ru

Аннотация. Климатические изменения в Арктике сопровождаются интенсификацией эрозионных и русловых процессов, частично обусловленной таянием многолетней мерзлоты. В статье представлены результаты гидрологических исследований, которые были организованы в 2022 году в южной части Ямало-Ненецкого автономного

округа. Дается анализ современных трендов гидроклиматических изменений, приводятся результаты комплексного гидрогеохимического обследования 41 водотока на субширотном участке Салехард – Надым – Уренгой, использованного для обоснования водосборов стационарного мониторинга эрозионных процессов. Обсуждаются особенности организованных стационарных наблюдений скорости отступления берегов, интенсивности овражной эрозии, уровня и ледового режима на реки Васъеган в бассейне Нижней Оби, на двух смежных водосборах рек Маханад-Пусьяха и Выерьяха в бассейне реки Надым и на водосборе реки Седэ-Яха в бассейне реки Пур. Приводится анализ первичных результатов мониторинга. **Ключевые слова:** овражная эрозия, русловые процессы, криолитозона, мониторинг, Субарктика.

Цитирование: Иванов В.А., Морейдо В.М., Прокопьева К.Н., Тарбеева А.М., Колесников Р.А., Чалов С.Р. Современные условия гидрологических процессов малых рек юга Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). № 3. С. 52-75. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.004.

Original article

MODERN CONDITIONS OF HYDROLOGICAL PROCESSES OF SMALL RIVERS IN THE SOUTH OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT

Victor A. Ivanov¹, Vsevolod M. Moreido², Kristina N. Prokopieva³, Anna M. Torbeeva⁴, Roman A. Kolesnikov⁵, Sergey R. Chalov⁶

^{2, 4, 6}*The Makkaveev laboratory of soil erosion and fluvial processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

^{1, 2, 3, 6}*Land Hydrology department, Geography faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁵*Arctic Research Center, Salekhard, Russia*

²*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

¹*viktoro.1998@yandex.ru*

²*vsevolod.moreydo@iwp.ru*

³*prokris3@mail.ru*

⁴*amtarbeeva@yandex.ru*

⁵*roman387@mail.ru*

⁶*hydroserg@mail.ru*

Abstract. Climate change in the Arctic is accompanied by an intensification of erosion and channel processes, partly due to the thawing of permafrost. The article presents the results of hydrological studies that were organized in 2022 in the southern part of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. An analysis of current trends in hydroclimatic changes is given, and the results of a comprehensive hydrogeochemical survey of 41 watercourses in the sublatitudinal section of Salekhard - Nadym - Urengoy, used to substantiate catchment areas for stationary monitoring of erosion processes, are presented. The features of organized stationary observations of the rate of bank retreat, the intensity of ravine erosion, and the level and ice regime on the Vasyogan rivers in the Lower Ob basin, on two adjacent catchment areas of the Makhanad-Pusyakha and Vyeryakha rivers in the Nadym river basin, and on the catchment area of the Sede-Yakha river in the Pur river basin are discussed. An analysis of the primary results of monitoring is given.

Keywords: gully erosion, channel erosion processes, cryolithozone, monitoring.

Citation: V.A. Ivanov, V.M. Moreido, K.N. Prokopyeva, A.M. Tarbeeva, R.A. Kolesnikov, S.R. Chalov Modern conditions of hydrological processes of small rivers of the South of the Yamalo-Nenets Autonomous District // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (120). No 3. P.52-75. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.004.

Введение

Территория Ямало-Ненецкого автономного округа является одним из наиболее освоенных регионов Российской Арктики, что определено его топливно-энергетическим потенциалом и выгодным транспортным положением [1]. Вместе с тем обширное распространение в автономном округе рыхлых высокотемпературных многолетнемёрзлых пород, восприимчивых к тепловому воздействию, ставит под угрозу безопасность эксплуатации существующих и проектируемых инженерных сооружений. Геологическое строение региона, его песчаные и суглинистые почвы, тон-

кий и легконарушаемый растительный покров определяют низкую устойчивость региона к водной эрозии. Прохождение южной границы сплошной криолитозоны по территории ЯНАО определяет значительные риски в связи с мерзлотными процессами и явлениями, обусловленными деградацией мерзлых пород. На территории округа развиты термокарст, термоэрозия, пучение; по берегам рек, озер, заливов Карского моря развиваются криогенные оползни, солифлюкция, термоабразия [2, 3]. Помимо усиления ряда криогенных процессов, увеличение температуры мерзлых пород приводит к снижению несущей способности фундаментов ниже проектных значений, что уже наносит ежегодные миллиардные ущербы [4].

Одновременно с интенсификацией опасных криогенных процессов из-за увеличения температуры происходит трансформация процессов формирования речного стока [5]. В то же время детальных сведений об этих процессах на территории малых водосборов ЯНАО нет. В этой связи в 2022 году осуществлена организация сети наблюдений за региональными характеристиками температуры, осадков и водного стока, организованы стационарные площадки эрозионных наблюдений. Выбор бассейнов был основан на результатах комплексного гидрохимического обследования водотоков на участке Салехард–Надым–Уренгой. Целью данной статьи является представление первичных результатов этих наблюдений, в том числе обоснование выбора пилотных бассейнов и методов гидрологических наблюдений. В заключение статьи изложены основные идеи продолжения мониторинговых работ.

Материалы и методы

Гидрохимическое обследование водотоков на участке Салехард – Надым – Уренгой

В ходе полевых работ в сентябре 2022 г. проведены обследования водотоков по трассе Салехард–Надым–Уренгой. За период с 20-го по 25 сентября был обследован 41 водоток, протекающий на территории водосборов в пределах бассейнов рек Оби, Полуй, Надым, Пур. Состав наблюдений на водотоках включал измерение следующих физико-химических показателей воды: температура воды ($^{\circ}\text{C}$), водородный показатель pH, удельная электропроводность (мкСм/см) и оптическая мутность воды (NTU).

Так, средняя температура воды в водотоках в период проведения измерений составила $6,6^{\circ}\text{C}$ с увеличением до $9,9^{\circ}\text{C}$ (бассейн р. Ярудей), а минимальная температура воды составила $3,9^{\circ}\text{C}$ (р. Хадыга). Средняя удельная электропроводность изучаемых водотоков невысокая и характеризуется величиной $81,9$ мкСм/см с уменьшением до $8,5$ мкСм/см

(р. Тыдыльяха) на водотоках, где, вероятнее всего, происходит обильное питание талыми надмерзлотными водами, и с увеличением до 511 – 519 мкСм/см (притоки р. Полу́й р. Тано́пча, р. Ма́лая Хой́яха), размывающие минерализованные коренные породы. По водородному показателю рН водотоки относятся к нейтральной среде (средний показатель 7,7). По показателю оптической мутности воды водотоки характеризуются невысокими значениями замутненности (среднее значение 19,8 NTU), однако в условиях высокой антропогенной нагрузки мутность воды может увеличиваться до 165 NTU (р. Васъёган – нижняя станция мониторинга в районе полигона ТБО), и наоборот – в условиях, где антропогенное воздействие полностью отсутствует, мутность воды может принимать значения 1,76 NTU (р. Васъёган – верхняя станция мониторинга в 6,5 км выше

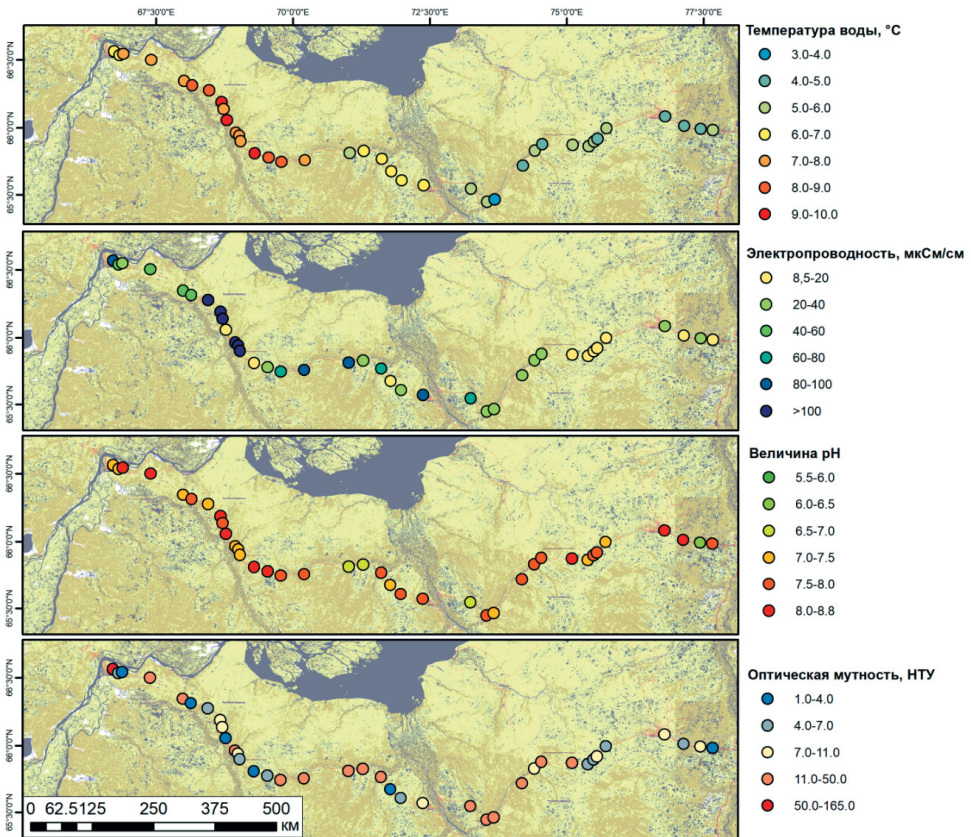


Рис. 1. Карта-схема изменчивости характеристик качества воды водотоков юга ЯНАО.

Примечание: а) температуры воды (°C), б) электропроводности (мкСм/см), в) величины рН, г) оптической мутности (NTU) водотоков по результатам измерений 20-25 сентября 2022 г.

по течению от нижней станции мониторинга в районе полигона твердых коммунальных отходов).

При визуальном анализе полученных карт-схем (рис. 1) наблюдается уменьшение температуры воды при движении от западной к восточной части участка Салехард – Надым – Уренгой. Аналогичная тенденция наблюдается и для показателя электропроводности воды. По водородному показателю рН и оптической мутности воды подобных тенденций к изменению не обнаружено.

Для выявления закономерностей изменения характеристик стока проведена дифференциация водотоков по бассейнам, которым эти водотоки принадлежат. Всего к бассейну р. Оби относится 9 точек измерений, к р. Полуй – 8 измерений, к р. Надым – 16 измерений и к р. Пур – 8 измерений. По бассейнам рек наблюдаются сильные отклонения по величинам удельной электропроводности: если в исследуемых реках бассейна р. Полуй эта величина достигает 251 мкСм/см, то в водотоках бассейна р. Пур данная характеристика составляет лишь 17,6 мкСм/см. В то же самое время водотоки бассейна р. Оби характеризуются повышенной мутностью воды, в среднем это значение для рек бассейна составляет 49,4 NTU, а в реках бассейна р. Пур – наоборот. Здесь мутность всех водотоков составляет менее 10 NTU, в среднем – 6,67 NTU. Водотоки с малой мутностью принадлежат также бассейну р. Полуй (среднее значение мутности составляет лишь 7,38 NTU). По величине водородного показателя рН среднее значение по всем бассейнам входит в диапазон 7,6-7,9, что, вероятнее всего, связано с локальными факторами, влияющими на величину рН (см. табл. 1).

Таблица 1. Средние значения физико-химических показателей изучаемых водотоков по бассейнам крупных рек

Бассейн	t, °C	ae, мкСм/см	рН	S, NTU
р. Обь	7,03	48,9	7,70	49,4
р. Полуй	8,53	252	7,93	7,38
р. Надым	6,24	47,6	7,58	15,9
р. Пур	4,93	17,6	7,63	6,67

Результаты наглядно свидетельствуют об отличных условиях формирования стока малых рек бассейнов Оби, Полуя, Надыма и Пура, что легло в обоснование расположения водосборов стационарного изучения гидрологических и эрозионных процессов в разных частях южной части ЯНАО.

Обоснование бассейнов стационарного мониторинга гидрологических и эрозионных процессов и методы наблюдений на них

Критерии выбора модельных водосборов и станций мониторинга были следующими:

1. Модельные водосборы должны располагаться в каждом из бассейнов: Нижняя Обь, Надым, Пур.

2. Преимущество отдавалось водосборам с возможностью заложения двух удаленных друг от друга станций мониторинга (при наличии подъездных дорог) для выявления масштабного эффекта процессов формирования стока.

3. Станции мониторинга должны быть типичными для территории и модельных водосборов.

4. Для выявления влияния климатических изменений на формирование стока станции мониторинга должны характеризовать естественное состояние водосбора.

5. Расположение станций мониторинга должно обеспечивать сохранность установленного оборудования.

На основе этого, а также с учетом отмеченной неоднородности условий формирования стока, были выбраны следующие модельные водосборы: р. Васъёган в бассейне Нижней Оби, два смежных водосбора Маханяд-Пусьяха и Вьерьяха в бассейне Надыма и водосбор р. Седэ-Яха в бассейне р. Пур (рис. 2).

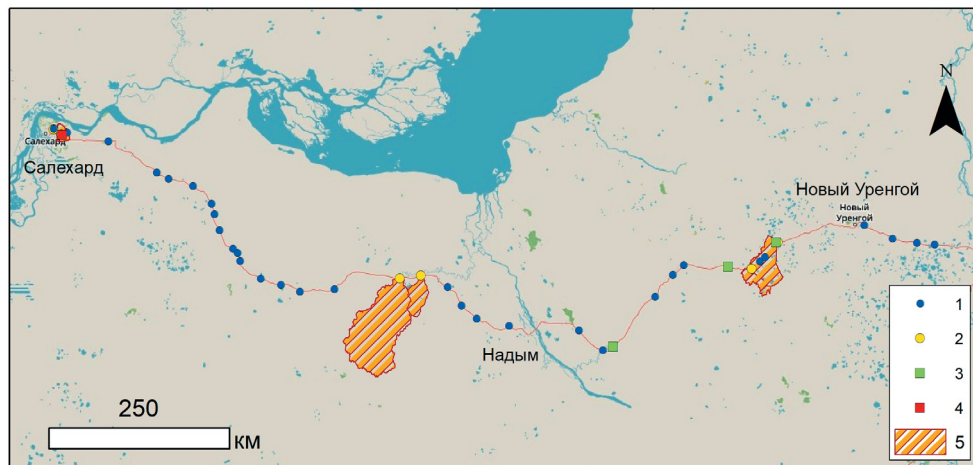


Рис. 2. Карта-схема расположения точек проведения измерений.

Примечание: 1 – точки базовых определений качества воды; 2 – станции мониторинга; 3 – стационарные площадки наблюдений овражной эрозии; 4 – стационарные площадки наблюдений береговой эрозии; 5 – модельные водосборы

Рассматриваемые территории характеризуются плоским рельефом, уклоны поверхности изменяются в диапазоне от 0,5 до 2,0%. Плоский рельеф обуславливает слабый поверхностный сток и широкое поверхностное заболачивание территории. Понижения рельефа заняты озерами, имеющими, как правило, округлую форму. Они имеют площади в диапазоне от 0,1 до 0,2 км², реже до 1,0 км². Глубина озер в среднем составляет от 0,4 до 0,8 м. В геологическом отношении территории представляют собой морские террасы мелового и более позднего возраста [6, 7]. Перекрывающие их четвертичные отложения представлены преимущественно суглинками и супесями, что в условиях многолетней мерзлоты определяет возможность развития пучения грунтов, солифлюкции и термокарста. Наименьшим по площади является водосбор Васъегана, в пределах исследуемых створов площади составляют 58,8 км² и 18,5 км². Тем не менее данный водосбор имеет наибольшее значение падения реки (5,21 м/км и 12,5 м/км), другими словами, водосбор имеет более расчлененное строение. В свою очередь остальные створы исследуемых водосборов, кроме верхнего створа р. Седэ-Яха, имеющего падение в 4,37 м/км, имеют низкое падение менее 2 м/км. Площадь водосбора на исследуемом створе р. Маханяд-Пусъяха составляет 1287 км², на нижнем створе р. Седэ-Яха – 396 км², на р. Выеръяхе – 174 км² и на верхнем створе р. Седэ-Яха – 101 км².

По данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР) [8], на водосборе Васъегана доминируют подзолы иллювиально-гумусовые, на водосборе Маханяд-Пусъяхи доминируют глеево-дифференцированные почвы, водосборы Седэ-Яхи и Выеръяхи заняты, в основном, торфяными болотными почвами. Действительно, водосборы Выеръяхи и Седэ-Яхи сильно заболочены и заозерены, в отличие от р. Васъеган.

Все исследуемые водосборы расположены в зоне лесотундры. Для данной зоны характерно смешение ландшафтов южной тундры и северной тайги. В геоботаническом отношении район исследования расположен в таежной зоне, подзоне лиственнично-кустарничково-зеленомошных сосновых лесов и редколесий, а также лишайниково-сфагновых олиготрофных северо-таежных болот.

Для оценки поверхностного покрова было предложено использовать автоматическое дешифрирование ESA WorldCover 2021 с разрешением в 10 м [9]. В данном ресурсе на основе данных дистанционного зондирования Земли методами кластеризации был выделен ряд классов землепользования. С помощью круговых диаграмм (рис. 3) можно увидеть, в каком процентном соотношении разные типы подстилающего покрова представлены для водосборов. Например, для Маханяд-Пусъяхи определяется наибольшая залесенность 58%, для Васъегана – 24% (11% и 19% – для модельных створов), для Седэ-Яхи – 6% (11% и 2% – для модельных

створов), у р. Выерьяха – 6%. Наибольшая заозеренность характерна для р. Выерьяха – 10%, у р. Седэ-Яха – 8%, для водосборов Васъегана и Маханийд-Пусьяхи озера занимают около 1%. На всех водосборах площадь антропогенных объектов 1% и менее.

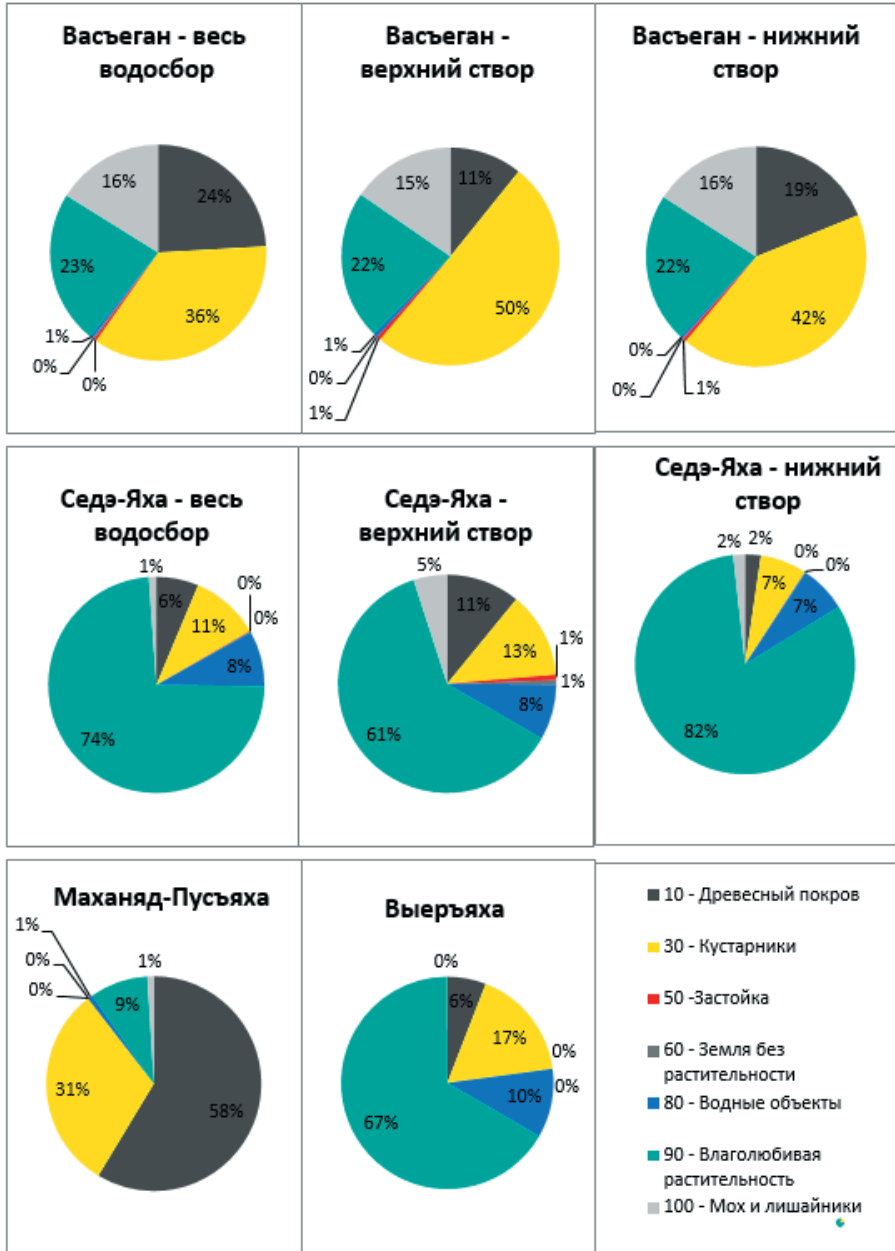


Рис. 3. Распределение типов подстилающего покрова по водосборам

В легенде ESA WorldCover содержится класс «90 – Влаголюбивая растительность», пока недостаточно оснований использовать данный показатель как кластер, отвечающий за расположение болот, но при визуальном сопоставлении данных автоматического дешифрирования и спутниковых снимков видно, что класс «90» и периодически затопляемые территории в целом совпадают. Используя термин «заболоченность» в качестве характеристики этого класса «90», можно сказать, что водосбор Седэ-Яхи является наиболее «заболоченным», в зависимости от створов данный показатель варьируется от 61% (верхний створ) до 82% (нижний створ). Выерьяха имеет «заболоченность» 67%, р. Васьеган имеет «заболоченность» 22-23%. Наименее «заболочен» водосбор Маханяд-Пусьяхи – 9%.

На станциях мониторинга проводились измерения расходов воды, отбор проб воды на мутность и содержание органического вещества, отбор проб донных отложений, проводилась установка самописцев (логгеров) уровней, температуры и мутности воды, автоматических фотокамер (фотоловушек) и датчиков температуры и влажности воздуха.

Для мониторинга уровней воды были использованы автономные приборы ERG-TP-01, предназначенные для периодической регистрации и хранения значений температуры и давления в течение длительного периода времени. Данный датчик, погруженный в воду, производит измерение абсолютного давления с частотой 1 раз в минуту, что позволяет рассчитать уровень воды за счёт разницы с атмосферным давлением. Для перехода от измеренных автономными регистраторами уровней воды в реках к оценкам объема стока, проходящего через живое сечение реки, в котором установлен регистратор, требуется составление зависимости расходов и уровней воды в гидростворе, что требует совместных измерений уровней и расходов воды.

Измерение расхода воды проводилось при помощи электромагнитного измерителя скорости водного потока Посейдон-1 и промеров глубины вручную с использованием размеченной через каждые 5 см вешки.

Полевое измерение мутности воды производилось при помощи турбидиметра «Nach» в относительных единицах рассеяния световых волн (NTU). Лабораторное определение взвеси в объемных концентрациях (мг/л) проводилось в отобранных пробах воды гравиметрическим методом с использованием мембранных фильтров и фильтровальной установки Millipore. Пробы воды отбирались с поверхности в пластиковую бутылку объемом 2 л. Совместные измерения позволили в дальнейшем перейти от относительных единиц мутности к весовым. Параллельно с отбором проб воды для фильтрации проводилось измерение физических свойств воды, таких как удельная электропроводность (κ , мкСМ/см), температура воды (T , °C), показатель pH с помощью портативного мультимонитора EC/TDS/pH/Temp HM Digital HM-200.

Устанавливаемые автоматические фотокамеры (фотоловушки) предназначены для оценки состояния русла в период между наблюдениями (замерзание, вскрытие рек и т.п.) и более корректной интерпретации результатов записи логгеров. Они фиксировались на деревьях с учетом максимальной маскировки и возможности закрепить их с видом на русло. Датчики температуры и влажности воздуха фирмы Ibutton использовались в дополнение к метеостанциям для выявления локального микроклимата и устанавливались на высоте 2 м над землей на деревьях вблизи русла.

Эрозионный мониторинг направлен на определение динамики малых эрозионных форм (оврагов) и размыва речных берегов. В его основе лежит сопоставление повторных аэрофотопланов и цифровых моделей рельефа, полученных путем аэрофотосъемки с квадрокоптера, оснащенного GPS. Для получения первых фотопланов и цифровых моделей рельефа съемка выбранных участков проводилась квадрокоптером DJI Mavic mini с высоты 30-100 м (в зависимости от размера участка и необходимой детальности снимков) с перекрытием снимков не менее 60%, камера при этом направлена вертикально вниз. Полученные снимки обрабатывались в программе Agisoft Metashape для получения цифровых моделей рельефа и ортотрансформации фотопланов. Точность итоговых ортофотопланов составляет 1-2 см, цифровых моделей рельефа – 5-7 см (рис. 4).

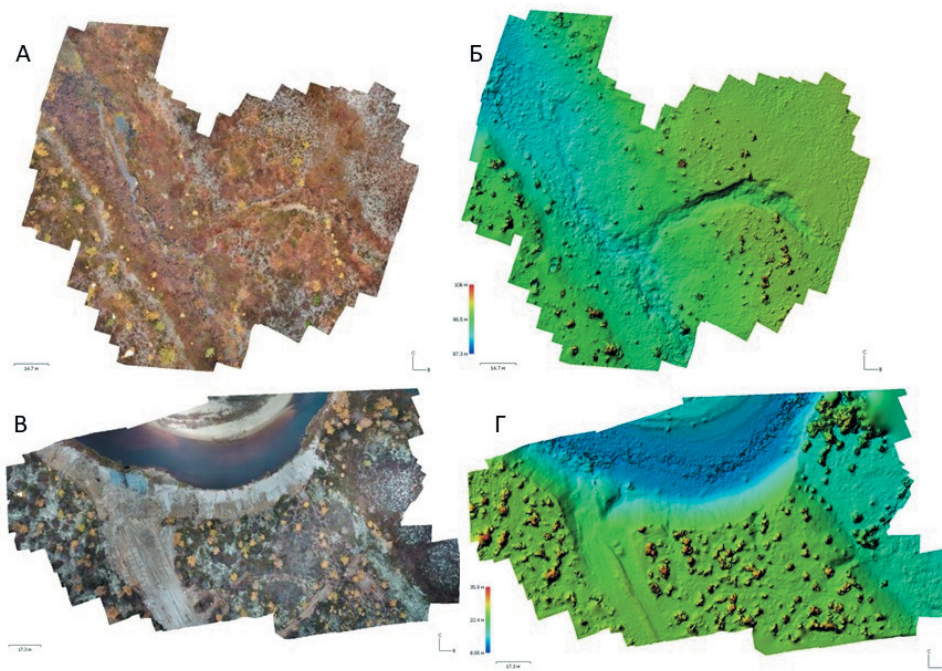


Рис. 4. Ортофотопланы (А и В) и цифровые модели местности (Б, Г) по данным аэрофотосъемки

Для более точной привязки снимков на каждом из участков предварительно закладывались не менее 4 опорных точек – реперов (стальные штыри), которые на время съемки отмечаются на местности ярким цветом. При наличии технической возможности дополнительно производится геодезическая привязка опорных реперов при помощи геодезической навигационной системы (GNSS). При отсутствии такой возможности снимки сопоставляются между собой по опорным точкам. Сопоставление ортофотопланов производится в ГИС-пакете QGIS. Выполнены цифровые модели рельефа исследуемых территорий (рис. 5).

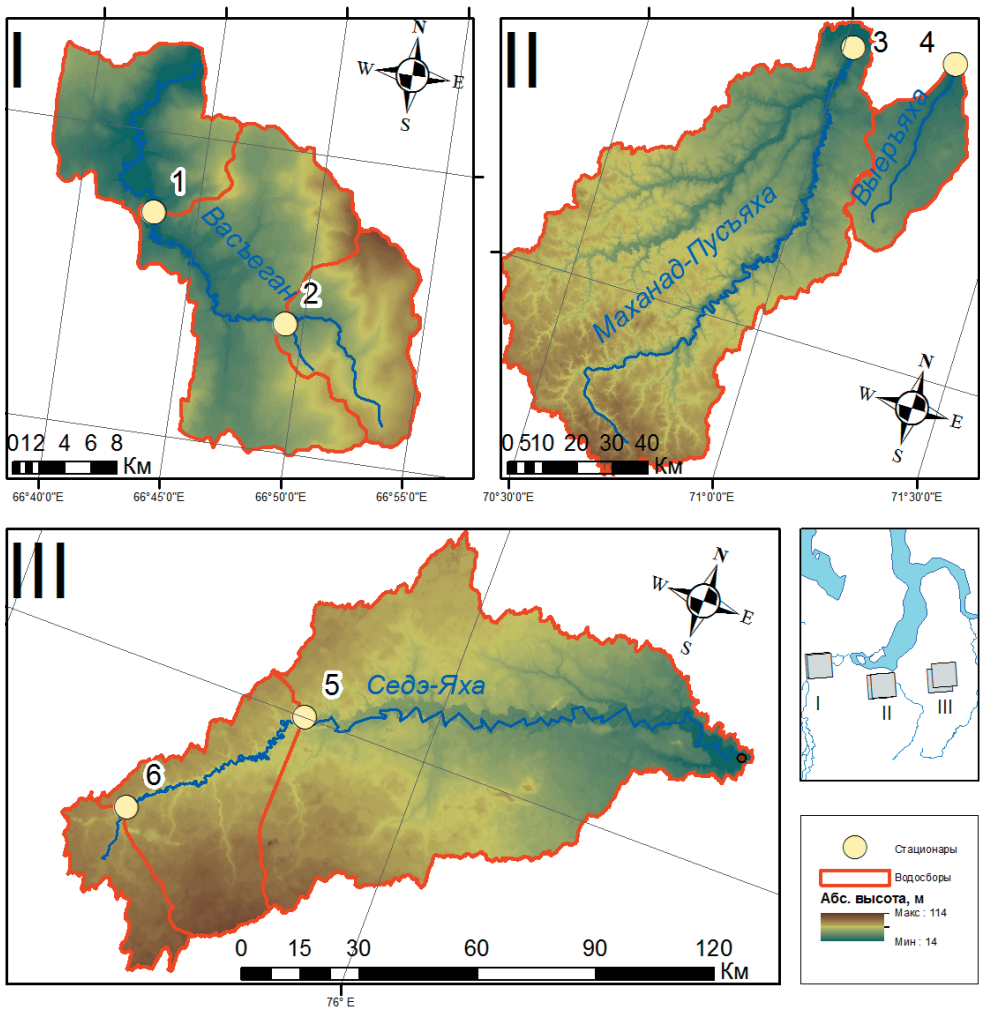


Рис. 5. Цифровая модель рельефа исследуемых территорий

Результаты и обсуждение

Первые результаты наблюдений.

Гидрометеорологическая характеристика водосборов

Обоснование и организация наблюдений сопровождались сбором доступных данных о гидрометеорологических характеристиках территории и их анализе. Многолетние наблюдения за метеорологическими характеристиками на территории района исследований проводятся на четырех опорных станциях Росгидромета, которые приурочены к крупным населенным пунктам: Салехард, Надым, Новый Уренгой, Тарко-Сале. Для данных метеостанций были взяты многолетние ряды характеристик среднесуточных температур воздуха и сумм осадков как наиболее существенных факторов, влияющих на речной сток и интенсивность эрозионных процессов.

Анализ среднестатистических характеристик исследуемых рядов с метеостанций Росгидромет (см. табл. 2) показал, что на данной территории средняя многолетняя среднегодовая температура воздуха составляет от 5,1 до -6,3 °С, ее изменчивость находится в пределах 1,62-1,91 °С, а коэффициент вариации в пределах 0,27-0,37. Среднемаксимальная среднесуточная температура воздуха достигает 22,5-24,5 °С.

Таблица 2. Характеристики рядов наблюдений за метеопараметрами на территории исследования

Индекс ВМО	Название	Период	N, лет	T, °С	P, мм	σ_T , °С	σ_P , мм	Cv_T	Cv_P	Tmax	Hmax
23330	Салехард	1882-2021	133	-5,9	387	1,62	113,9	0,273	0,294	22,0	27,0
23358	Новый Уренгой	1981-2021	42	-6,3	460	1,82	57,4	0,288	0,125	24,0	28,0
23445	Надым	1959-2021	62	-5,1	502	1,91	87,1	0,376	0,174	24,5	28,9
23552	Тарко-Сале	1936-2021	85	-5,5	504	1,90	88,7	0,347	0,176	24,3	29,8

Примечание: ВМО – Всемирная метеорологическая организация.

Среднее годовое количество осадков колеблется от 387 до 504 мм. Изменчивость суммы осадков находится в пределах 57-113 мм, причем максимальная изменчивость характерна для западной части территории (г. Салехард), где отмечается наименьшая для территории сумма осадков, а минимальная межгодовая изменчивость – для восточной части (г. Новый Уренгой). Коэффициент вариации изменяется от 0,125 до 0,294.

Анализ временных рядов температуры воздуха и осадков показал также, что в них присутствует статистически значимый линейный тренд. Температура воздуха за весь период наблюдений на метеостанциях в среднем увеличивалась на $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год, причем в г. Новый Уренгой эта интенсивность выше всего — $0,067\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (рис. 6).

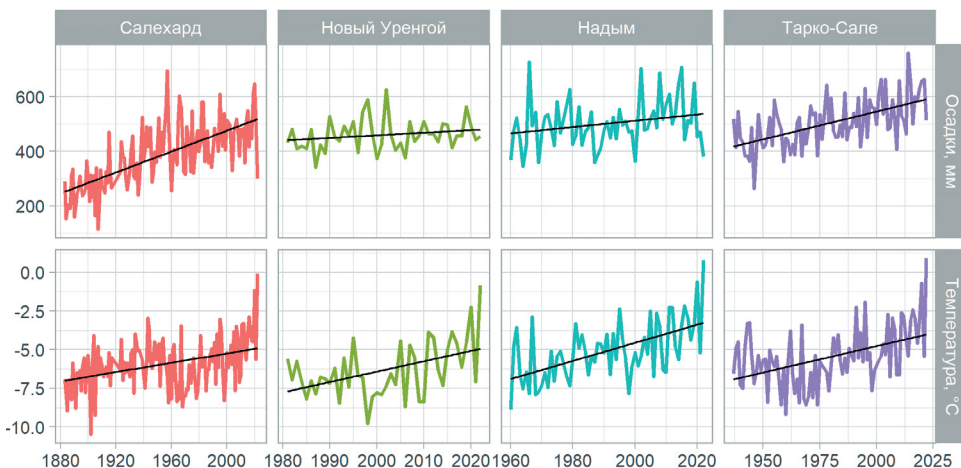


Рис. 6. Многолетние изменения среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков по метеостанциям

Осадки увеличиваются на $1,51\text{ мм}/\text{год}$, интенсивнее всего в Тарко-Сале — на $2\text{ мм}/\text{год}$. Анализ t-критерия Стьюдента для рядов среднегодовых температур и осадков показал, что все тренды, наблюдаемые в данных, являются статистически значимыми.

Среднемаксимальные суточные суммы осадков, характерные для данной территории, достаточно устойчивы — от 27 до $29,8\text{ мм}/\text{сут}$. Наименьшая среднемноголетняя среднемаксимальная суточная сумма осадков наблюдалась на м/с Салехард, наибольшая — на м/с Тарко-Сале. Абсолютные максимальные суточные суммы осадков составляют: для м/с Салехард — $72,7\text{ мм}$ (1967), м/с Новый Уренгой — $58,1\text{ мм}$ (1998), м/с Надым — $67,6\text{ мм}$ (1966), м/с Тарко-Сале — 85 мм (1965). Все случаи выпадения максимального количества суточных осадков приурочены к летнему периоду (июль — август).

Для исследования структуры осадков были также проведены оценки годовых сумм осадков в виде дождя и снега. В отсутствии данных по измерениям дождей и снежного покрова анализ был проведен разделением сумм осадков по пороговому значению температуры воздуха $t = 0$. Анализ показал, что в среднем сумма осадков, выпадающих в виде дождей, на всех станциях больше, чем в виде снега — до 70% (рис. 7). Для дождей и снега также были оценены многолетние тренды за период наблюдений. Анализ

трендов показал, что все они статистически значимы на уровне 0,05%. Для дождей на всех станциях наблюдается положительный тренд вплоть до 1,3 мм/год. Для снега на всех станциях, кроме Нового Уренгоя, также наблюдается положительный тренд в размере от 0,5 до 1,7 мм/год. Для Нового Уренгоя этот тренд незначительно отрицательный и равен -0,26 мм/год.

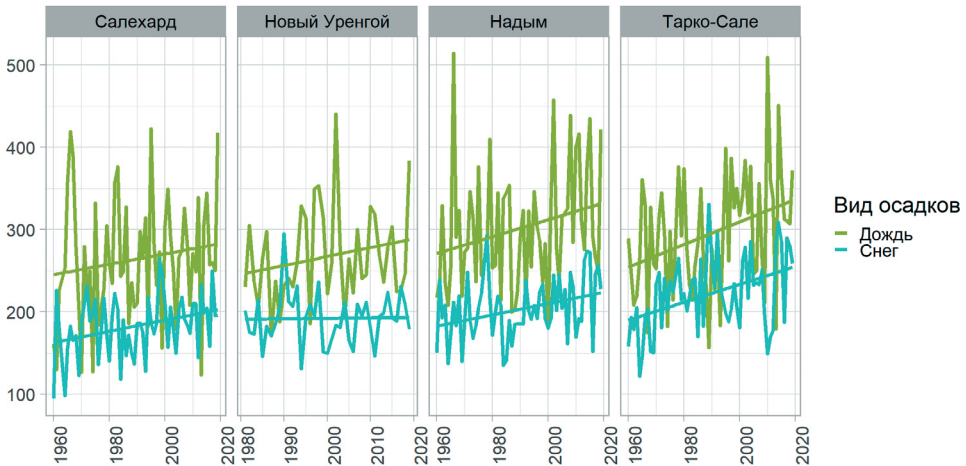


Рис. 7. Многолетние изменения годовой суммы осадков в зависимости от типа

Характеристика фоновое состояние криолитозоны составлена на основании результатов долгосрочного мониторинга глубины максимального сезонного оттаивания почвы на площадках CALM (<https://www2.gwu.edu/~calm/>). Площадки мониторинга расположены на территории метеостанций в городах Надыме и Новый Уренгой. Данные свидетельствуют о том, что с 1997-го по 2021 год глубина оттаивания увеличилась на 40% с 119 см по 196 см для метеостанции Надым и на 27% с 84 см до 107 см для метеостанции Новый Уренгой (рис. 8).

Гидрологические наблюдения в пределах южной части ЯНАО и непосредственно малых водосборов в настоящее время крайне ограничены. Среди модельных водосборов только на р. Седэ-Яха располагается гидрологический пост, в пяти километрах от впадения в р. Евояха около Нового Уренгоя. Гидрологический пост работает с 1985 г. по настоящее время. На основании материалов изысканий [10], посвященных водосбору р. Евояха, реке, притоком которой является р. Седэ-Яха, можно сказать, что исследуемые водосборы по классификации Зайкова принадлежат к Западносибирскому типу гидрологического режима с весенне-летним половодьем и паводками в теплое время года. Для рек данного типа характерно преимущественно снеговое питание, талые воды составляют 65-80% годового стока рек, грунтовое питание играет незначительную роль из-за наличия многолетней мерзлоты.

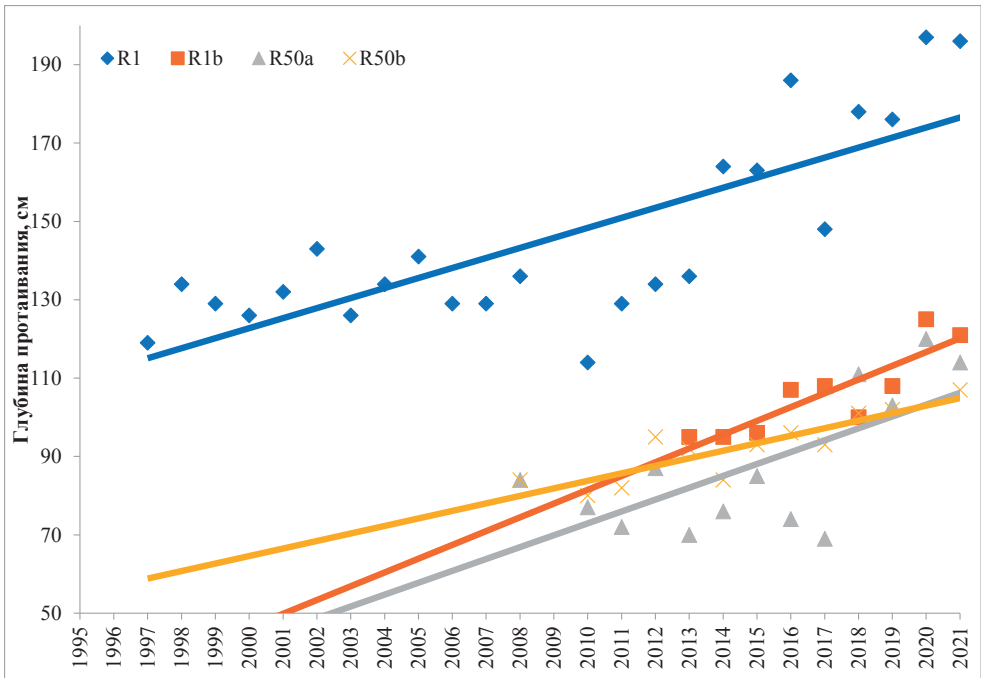


Рис. 8. Глубина сезонного оттаивания по данным скважин CALM.
 Примечание: R1, R1b – скважины на метеостанции Надым, R50a, R50b – скважины на метеостанции Новый Уренгой

В этих условиях организованные наблюдения являются исключительным источником информации о гидрологических процессах. В рамках наблюдений 2022 года был получен ряд наблюдений за температурой и уровнем воды, охватывающий период 21.09.2022 – 24.10.2022 гг. на модельном водосборе р. Васъёган в створах наблюдений 1 (верховья реки) и 2 (среднее течение реки). Данные были обработаны и совмещены с рядом наблюдений за атмосферными осадками на автоматической метеостанции Салехард, расположенной в 10 км к западу от створов наблюдений, для анализа реакции модельного водосбора на выпадение осадков (рис. 9).

Анализ совмещенных графиков уровней, температур и осадков показывает следующее. Температура воды имеет выраженный суточный ход, а также реагирует на поступление осадков в русловую сеть – это видно на графике с 22-23 сентября, когда температура медленно и продолжительно опускалась вслед за уровнем воды на фоне отсутствия осадков, а затем 9-11 октября после выпавших осадков уровень повысился, а температура понизилась. То же произошло и начиная с 19 октября, когда после продолжительных осадков и подъема паводковой волны температура стабильно снизилась.

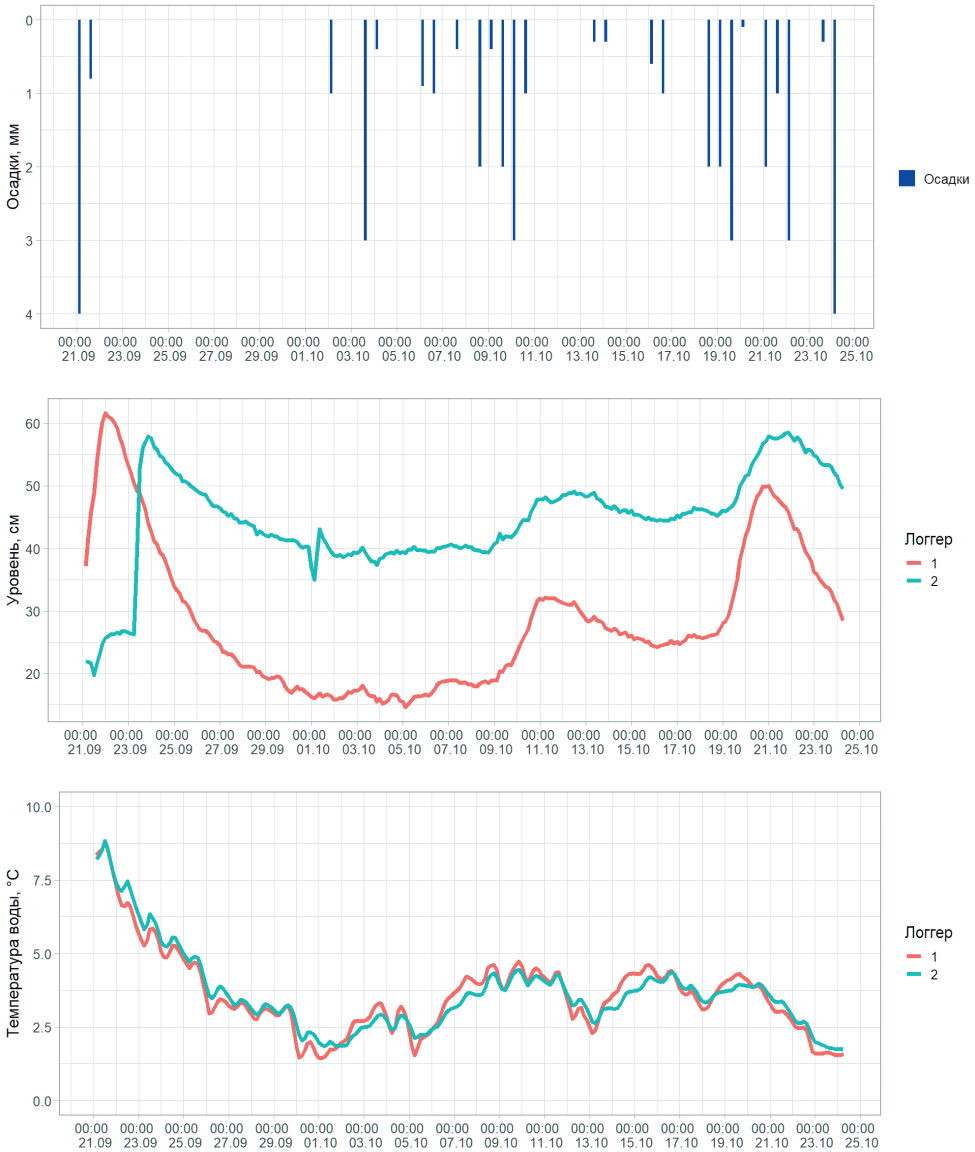


Рис. 9. Ход температуры, уровня воды и количества осадков на модельном водосборе р. Васъёган по двум створам 1 (верховья реки) и 2 (среднее течение реки)

Реакция уровня воды на выпадение осадков позволяет оценить стоко-регулирующую роль болот, торфяников и глубины сезонного оттаивания почвы на водосборе. Определенное количество осадков накапливается в болотно-торфяной емкости, прежде чем сток повысится в русловой сети. Это хорошо видно на двух графиках, которые получены по данным наблю-

дений за паводками 9-11 и 19-21 октября. Осадки, сформировавшие первый паводок, начались 1-2 октября, сформировавшие второй – 13-15 октября, что дает в итоге время концентрации водосбора величиной около 4-7 дней. Этот эффект будет в дальнейшем более детально уточнен. Скачок уровня, отмеченный на графике хода уровня, на створе 2 01.10.2022 связан, предположительно, с установлением заберегов на р. Васъеган в этот момент. Это подтверждает фото с фотоловушки, расположенной на участке.

По результатам фильтрования речной воды максимальные значения мутности были зафиксированы на р. Васъеган (в нижней части бассейна, у полигона ТКО) – 61,7 мг/л, р. Маханяд-Пусьяха – 148 мг/л и р. Евояха – 51,3 мг/л. Большая часть водотоков характеризуется небольшими значениями мутности воды до 10-15 мг/л.

По водородному показателю рН большая часть водотоков характеризуется нейтральными показателями рН (в пределах 6,5-7,5), исключения составляют нижняя станция мониторинга на модельном водосборе Васъеган (5,7) и нижняя станция мониторинга Евояха (6,2), где показатели рН относятся к слабокислым водам, что, вероятнее, всего связано с присутствием гумусовых кислот в почве и болотных водах, что в целом свойственно всей исследуемой территории.

Результаты измерений электропроводности по исследуемым водотокам свидетельствуют о том, что водотокам модельных водосборов свойственны малые значения удельной электропроводности (до 100 мкСм/см). Однако на р. Юнъяха значения электропроводности увеличиваются до 159 мкСм/см, что, возможно, связано с выходом коренных пород на водосборе.

По модельному водосбору «р. Васъеган» значения рН уменьшаются от верхней (8,8) к нижней (5,7) станции мониторинга. Обратная ситуация наблюдается для значений мутности воды, которая увеличивается от верхней станции к нижней с 5,12 мг/л до 61,7 мг/л, что связано с контрастной антропогенной нагрузкой в пределах водосбора: в верхнем течении отсутствует, в нижней части бассейна принимает максимальные значения (например, пересечение трассой Салехард-Надым). Величина относительной электропроводности и температуры воды на обеих станциях в целом однородна.

По модельному водосбору «р. Седэ-Яха» фиксируется аналогичное распределение параметров: однородность температуры воды и электропроводности воды; уменьшение показателя рН (с 7,5 до 6,2) и увеличение мутности воды (с 8 мг/л до 51,3 мг/л).

На контрастных по площади водосборах «р. Маханяд-Пусьяха» и «р. Выерьяха» наблюдаются контрастные значения удельной электропроводности, величины рН и мутности воды. Максимальны характеристики на модельном водосборе «р. Маханяд-Пусьяха». Мутность воды здесь составляет 148 мг/л против 11,1 мг/л на модельном водосборе «р. Выерьяха».

По удельной электропроводности значения выше на водосборе «р. Маханяд-Пусьяха» (89,7 мкСм/см), на водосборе «р. Выерьяха» значения в 3,5 раза ниже – 25,1 мкСм/см. Все вышеизложенные характеристики качества воды отображены в табл. 3.

Таблица 3. Физические характеристики вод рек ЯНАО по результатам обследования водотоков с 20-го по 24 сентября 2022 г.

Река	Дата	Координаты		<i>ae</i>	<i>pH</i>	<i>T</i>	Оптическая мутность, NTU	Весовая мутность, мг/л
		X	Y					
Верховье Васьегана	20.09.2022	66,535213	66,818416				5,77	5,12
Васьеган	20.09.2022	66,561965	66,718370	55,1	5,7	6,8	143,3	61,7
Маханяд-Пусьяха	22.09.2022	65,814124	71,023385	89,7	7,0	5,2	48,5	148
Выерьяха	22.09.2022	65,828946	71,288371	25,1	6,6	6,2	11,2	11,1
Танопча	21.09.2022	65,963193	68,951371	51,9	7,4	7,3	15,3	15,1
Юньяха	21.09.2022	66,277680	68,453521	159	7,5	8,4	5,48	5,11
Тюндья-хамал	21.09.2022	66,314746	68,149399	41,3	7,8	8,8	3,10	10,6
Седэ-Яха	24.09.2022	65,996069	75,728886	19,1	7,5	5,1	6,80	8,00
Евояха	24.09.2022	65,992665	77,455585	26,1	6,2	4,9	10,5	51,3
Хадыта	23.09.2022	65,462654	73,679971	32,5	7,2	3,9	27,43	12,3

В пробах донных отложений проанализирован гранулометрический состав методом ситового анализа в диапазоне фракций от 0,1 мм до 10 мм. Гранулометрический состав донных отложений исследуемых рек варьирует в диапазоне значений от гравия до тонких песчаных частиц. Пробы характеризуются преобладанием среднего и мелкого песка. На модельном водосборе «р. Васьеган» на верхней станции мониторинга средний диаметр донных отложений составил 0,29 мм с увеличением на нижней станции мониторинга до 0,59 мм. Связано это с уклонами русла и скоростями течения водного потока, которые выше на нижней станции мониторинга. Аналогичная ситуация наблюдается и для модельного водосбора «р. Седэ-Яха», где средний диаметр донных отложений увеличивается с 0,25 мм до 0,49 мм. Для модельных контрастных по площади водосборов «р. Маханяд-Пусьяха» и «р. Выерьяха» получены также контрастные средние диаметры донных отложений. На модельном водосборе «р. Маханяд-Пусьяха» значение среднего диаметра составляет 0,81 мм, а на «р. Выерьяха» – 0,29 мм. Данная закономерность также связана с морфометрическими характеристиками бассейна (коэффициент корреляции между средним диаметром и площадью водосбора составляет 0,81).

Заключение

Впервые на территории Ямало-Ненецкого автономного округа силами сотрудников ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» и географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова организованы стационарные гидрологические наблюдения на трех модельных водосборах, расположенных в южной части региона.

Региональный рекогносцировочный этап исследования включил в себя визуальный анализ космических снимков на южную территорию ЯНАО и маршрутный объезд вдоль автотрассы «Салехард – Надым – Новый Уренгой». Обследованная территория совпадает с южной границей распространения сплошной мерзлоты и границей между лесотундрой и тундрой, что обуславливает важность постановки исследований именно в этой части ЯНАО: все водосборы попадают на границу двух контрастных условий развития эрозионных процессов. Был обследован 41 водоток, протекающий по территории модельных водосборов, так и в пределах бассейнов рек Оби, Полуй, Надым, Пур. Получены уникальные данные о пространственной изменчивости физико-химических показателей воды в период меженной фазы водности.

В качестве модельных водосборов были выбраны р. Васъеган в бассейне Нижней Оби, два смежных водосбора Маханяд-Пусъяха и Выерьяха в бассейне Надыма и водосбор р. Седэ-Яха в бассейне р. Пур. Разработаны два типа стационарных полигонов для изучения эрозионных наблюдений: площадки наблюдений овражной эрозии и площадки наблюдений береговой эрозии. В пределах модельных водосборов инсталлированы разработанные для задач исследования автономные мультипараметрические регистраторы температуры и уровня воды, а также станция контроля мутности, предназначенные для высокочастотного мониторинга в течение продолжительного времени гидрологических характеристик на реках криолитозоны. В данной статье приведены предварительные результаты, полученные в ходе работы датчиков на модельных водосборах. Тестовые результаты мониторинга были связаны также с обобщением данных о ландшафтных условиях развития эрозионных процессов и климатической обстановке в регионе, необходимых для запуска водно-эрозионной модели. Эти результаты, в частности, подтвердили актуальность задачи развития сети наблюдений за эрозией в условиях климата, так как анализ временных рядов температуры и осадков по постам Росгидромета показал статистически значимый линейный тренд. Получена оценка реакции водосбора на выпадение осадков в период осени 2022 года: для водосборов наблюдается растянутая во времени волна повышенного стока, и ей предшествует определенное количество накопленных в болотно-торфяной емкости осадков, прежде чем она проявится в русловой сети.

Проведенные исследования и организованные станции мониторинга направлены на создание массива гидрометеорологической информации, необходимой для развития комплексной системы мониторинга и прогнозирования водно-эрозионных процессов. Такая система, по предварительным оценкам, будет включать в себя: 1) систему сбора количественных данных о развитии процессов эрозии на природных полевых стационарах; 2) оценку фактических и прогнозных изменений факторов эрозии, в том числе сценарии изменений водного режима по результатам сценарных расчетов климатических моделей общей циркуляции атмосферы; 3) программное исполнение водно-эрозионной модели.

Результатом станет первая в России региональная комплексная водно-эрозионная модель прогнозирования опасных гидрологических процессов в условиях распространения многолетней мерзлоты. Подобная модель, верифицированная для модельных водосборов территории ЯНАО, имеет перспективы использования для любых хозяйственных объектов, расположенных в условиях развития многолетней мерзлоты и находящихся в зоне потенциальных рисков деформаций поверхностей за счет эрозионно-мерзлотных процессов.

Развитие системы моделирования и её объединение со сценарными климатическими оценками изменения водного режима позволит получить прогнозные оценки климатически обусловленных изменений водного стока и активизации процессов для различных территорий, расположенных в пределах модельных водосборов и в сходных условиях. Эти оценки являются инструментами долгосрочного прогнозирования и создания стратегии использования водных ресурсов и безопасности объектов хозяйственной инфраструктуры. На основе численного моделирования могут быть созданы алгоритмы прогнозирования процессов водной эрозии в условиях деградации многолетнемерзлых пород на территории ЯНАО с выбором эффективных вариантов защиты хозяйственной инфраструктуры.

Список источников

1. Ларченко Л.В., Колесников Р.А. Дифференциация социально-экономического развития арктических регионов России // *Инновации*. – 2017. – № 10 (228). – С. 69-75.
2. Познанин В.Л. Эрозионные процессы в криолитозоне // *Пространство и время*. – 2012. – № 7 (1). – С. 127–132.
3. Kolesnikov R. Ecological state of water bodies and their water protection zones within the boundaries of settlements of the Yamal peninsula // *Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM 2021)*. - Vol. 265 of E3S Web of Conferences. - EDP Sciences, 2021. - P. 02009.

4. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Алексеев А.Г., Бадина С.В., Бердников Н.М., Великин С.А., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Жданеев О.В., Захаров А.А., Леопольд Я.К., Кузнецов М.Е., Малкова Г.В., Осокин А.Б., Остарков Н.А., Ривкин Ф.М., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Федоров Р.Ю., Фролов К.Н., Устинова Е.В., Шеин А.Н. Развитие геокриологического мониторинга природных и технических объектов в криолитозоне Российской Федерации на основе систем геотехнического мониторинга топливно-энергетического комплекса // Криосфера Земли. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 3-18.
5. Чалов С.Р., Морейдо В.М., Прокопьева К.Н., Ефимов В.А. Влияние береговых едомных обнажений на сток наносов арктических рек // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 141-157.
6. Шишкин М.А., Файбусович Я.Э., Шкарубо С.И., Назаров Д.В., Абакумова Л.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объяснительная записка // Картографические изд., – СПб. – 2014. – 396 с.
7. Шишкин М.А., Файбусович Я.Э., Шкарубо С.И., Назаров Д.В., Абакумова Л.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-43 – Новый уренгой. Объяснительная записка // Картографические изд., – СПб. – 2015. – 320 с.
8. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. – М.: Почвен-е изд. – 2014. – 768 с.
9. Zanaga D. ESA WorldCover 10 m 2020 v100 // Meteosat Second Generation Evapotranspiration (MET). 2021.
10. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) «Автозаправочная станция Ново-Уренгойского ЛПУМГ» 50/58-422-494-2022. ОВОС Заказчик - ООО «Газпром трансгаз Сургут».

Сведения об авторах

Иванов Виктор Алексеевич, гидролог, аспирант кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Автор и соавтор 7 научных статей. Область научных интересов: речные наносы, косвенные методы определения мутности, водная эрозия, береговая эрозия.

Морейдо Всеволод Михайлович, гидролог, кандидат географических наук, заведующий лабораторией гидроинформатики Института водных проблем РАН (Москва). Является специалистом по исследова-

нию и математическому моделированию процессов формирования стока воды и речных наносов, влиянию изменения климата на речной сток и прогнозированию его последствий. Автор более 50 статей в российских и международных научных журналах.

Прокопьева Кристина Николаевна, гидролог, магистр кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Автор и соавтор 12 научных статей. Область научных интересов: гидрология рек, русловые процессы, речные наносы, дельты рек, спутниковые снимки.

Тарбеева Анна Михайловна, геоморфолог, работает в районах распространения многолетнемерзлых пород (Центральная и Северная Якутия, Чукотка, Ямал, Аляска), кандидат географических наук, научный сотрудник географического факультета МГУ. Автор и соавтор более 100 научных статей, в том числе 2 монографий и 2 атласов. Область научных интересов: флювиальная геоморфология, экзогенные процессы.

Колесников Роман Александрович, ямальский исследователь, эколог-практик, специалист в области охраны окружающей среды, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник сектора геоэкологии ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Является экспертом Национального арктического научно-образовательного консорциума, экспертом ситуационного центра сферы туризма Российского государственного университета туризма и сервиса, член Российского отделения Международной ассоциации ландшафтной экологии (IALE-Russia). Общественный инспектор по охране окружающей среды Ямало-Ненецкого автономного округа. Автор и соавтор более 70 научных работ, в том числе 3 монографий. Область научных интересов: геоэкология, почвоведение, рекреационное природопользование.

Чалов Сергей Романович, гидролог, доктор географических наук, заведующий НИЛ Лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Является постоянным членом Русского Географического общества, член президума World Association of Soil and Water Conservation (WASWAC). С 2015 года – вице-президент и секретарь Комиссии по Континентальной Эрозии (International commission for Continental Erosion, ICCE) Международной Гидрологической Ассоциации (International Association of Hydrological Sciences, IAHS), президума Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных и русловых процессов при МГУ имени М.В. Ломоносова. Автор и соавтор более 250 научных статей, в том числе 13 книг. Область научных интересов: гидрология рек, русловые процессы, гидроэкология, речные экосистемы.

Участие авторов

Иванов В.А. – сбор и обработка полевых материалов, анализ климатических и гидрологических показателей, написание текста статьи.

Морейдо В.М. – сбор и обработка полевых материалов, анализ климатических и гидрологических показателей, составление картографических материалов, написание текста статьи.

Прокопьева К.Н. – сбор и обработка полевых материалов, анализ гидрологических показателей, изучение эрозионных процессов, работа с текстом статьи.

Тарбеева А.М. – сбор и обработка полевых материалов, анализ гидрологических показателей, изучение эрозионных процессов, построение цифровой модели рельефа, работа с текстом статьи.

Колесников Р.А. – организация проведения полевых работ, сбор и обработка полевых материалов, написание текста статьи.

Чалов С.Р. – сбор и обработка полевых материалов, анализ климатических и гидрологических показателей, изучение эрозионных процессов, написание текста статьи.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 11.04.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on April 11, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 504.062 550.46

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.005

ГЕОХИМИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПОСЕЛКЕ ГОРОДСКОГО ТИПА ХАРП И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ, ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

Роман Александрович Колесников¹, Ростислав Игоревич Локтев², Елена Владимировна Шинкарук³, Евгения Николаевна Моргун⁴, Руслан Михайлович Ильясов⁵, Георгий Александрович Андреев⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹roman387@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2722-5133>

²rost.lok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5696-945X>

³elena1608197@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>

⁴morgun148@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>

⁵frandy@mail.ru

⁶andreev89.09@gmail.com

Аннотация. В статье представлены данные геохимического состава снежного покрова в поселке городского типа Харп Ямало-Ненецкого автономного округа. Проведено сравнение содержания загрязняющих веществ в пробах снега, отобранных в черте населенного пункта, с пробами, отобранными на фоновых участках за его границами, а также со средними региональными значениями, характерными для этой территории. Выявлено, что в черте населенного пункта концентрации нефтепродуктов, аммоний-ионов, нитрат-ионов, сульфат-ионов, хлорид-ионов, фенолов, железа, хрома VI, меди, цинка и свинца выше, чем на полигонах, где отобраны фоновые пробы.

Ключевые слова: урбанизированные территории, техногенез, геохимия, снежный покров, тяжелые металлы, нефтепродукты, Ямал, Полярный Урал.

Цитирование: Колесников Р.А., Локтев Р.И., Шинкарук Е.В., Моргун Е.Н., Ильясов Р.М., Андреев Г.А. Геохимия снежного покрова в поселке городского типа Харп и его окрестностях (Полярный Урал, Ямало-Ненецкий автономный округ) // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). № 3. С. 76-90. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.005

Original article

GEOCHEMISTRY OF SNOW COVER IN THE URBAN-TYPE SETTLEMENT OF KHARP AND ITS ENVIRONS (POLYARNY URAL, YAMAL-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT)

Roman A. Kolesnikov¹, Rostislav I. Loktev², Elena V. Shinkaruk³, Evgenia N. Morgun⁴, Ruslan M. Ilyasov⁵, Georgy A. Andreev⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹roman387@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2722-5133>

²rost.lok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5696-945X>

³elena1608197@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>

⁴morgun148@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>

⁵frandly@mail.ru

⁶andreev89.09@gmail.com

Abstract. The article presents data on the geochemical composition of the snow cover in the urban-type settlement of Kharp, Yamalo-Nenets Autonomous District. A comparison was made of the content of pollutants in snow samples taken within the boundaries of the settlement with samples taken in background areas outside its borders, as well as with average regional values characteristic of this territory. It was revealed that within the boundaries of the settlement, the concentrations of oil products, ammonium ions, nitrate ions, sulfate ions, chloride ions, phenols, iron, chromium VI, copper, zinc and lead are higher than at the landfills where background samples were taken.

Keywords: urbanized territories, technogenesis, geochemistry, snow cover, heavy metals, oil products, Yamal, Polar Urals.

Citation: Kolesnikov R.A., Loktev R.I., Shinkaruk E.V., Morgun E.N., Piyasov R.M., Andreev G.A. Geochemistry of snow cover in the urban-type settlement of Kharp and its environs (Polyarny Ural, Yamalo-Nenets Autonomous District) // Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous District. 2023. (120). No. S.76-90. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.005.

Введение

На урбанизированных территориях выбросы в атмосферу от стационарных и передвижных источников, коммунально-бытовые и промышленные стоки создают геохимические потоки загрязняющих веществ [1]. Химический состав снежного покрова является индикатором техногенного загрязнения урбанизированных ландшафтов. По степени загрязнения снежного покрова определяют количество загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные воды и почвы [2; 3]. Основными источниками загрязнения снега в населенных пунктах являются выбросы от автотранспорта, объектов энергетики, добывающей и перерабатывающей промышленности, антигололедные средства [4]. Довольно часто наблюдается повышенное загрязнение снега вдоль автомобильных дорог. За счет сжигания угля и мазута в снежном покрове населенных пунктов аккумулируются тяжелые металлы, нефтепродукты, медь и цинк накапливаются из-за эксплуатации автотранспорта, свинец – в результате сжигания этилированного бензина [5].

В поселке городского типа Харп городского округа Лабытнанги Ямало-Ненецкого автономного округа располагаются автотранспортные и производственные площадки предприятий, осуществляющих добычу твердых полезных ископаемых (хром, строительный камень, амфиболиты), эксплуатируются электростанция, оборудованная четырьмя газопоршневыми установками, и сети газоснабжения, работает дробильно-сортировочный комплекс, функционируют железная дорога и железнодорожная станция. В Харпе загружаются и транспортируются вагоны с хромовой рудой. В населенном пункте широко используется автомобильный транспорт, в том числе вездеходный и большегрузный, для перевозки полезных ископаемых. В 23 км на северо-запад от пгт Харп расположен действующий карьер, в котором открытым способом ведется добыча хромовых руд.

На территории пгт Харп выбросы в атмосферный воздух идут от 16 стационарных источников, а также от автотранспорта. В атмосферу поступает 55 веществ. К приоритетным загрязнителям атмосферного воз-

духа с учетом их опасности и величин поступления относятся 22 вещества: свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец), азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, сажа, сера диоксид, дигидросульфид, углерод оксид, фтористые газообразные соединения, метан, бензол, этилбензол, бенз(а)пирен, гидроксibenзол, ацетальдегид, формальдегид, керосин, взвешенные вещества, мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий), пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: более 70, пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: 70-20, пыль неорганическая: до 20% SiO₂ [6; 7].

В 2023 году на Полярном Урале планируют запустить новый туристический кластер Рай-Из. На базе Харбей будут проводить деловые мероприятия, организовывать вездеходные, пешие и снегоходные маршруты. В природном парке «Ингилор» обустраиваются экологические маршруты. В 2026 году планируется к открытию горнолыжный комплекс с 20 км трасс, двумя гостиницами. Поселок Харп как ближайший к этим объектам транспортный узел должен стать центром данного туристического кластера.

В связи с тем, что поселок Харп является населенным пунктом, внутри которого и в окрестностях которого сосредоточено большое количество промышленных объектов, а в дальнейшем здесь планируют развивать туризм, – назрела необходимость в получении геохимических данных, характеризующих техногенную нагрузку на окружающую среду в данном населенном пункте.

Для решения этого вопроса была проведена оценка загрязнения снежного покрова в пгт Харп, выполнено сравнение содержания загрязняющих веществ на полигонах внутри населенного пункта с данными, собранными с фоновых участков, а также со средними региональными значениями содержания контролируемых компонентов в снежном покрове на территории Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Определены наиболее экологически опасные элементы, имеющие максимальные величины выпадения и концентрации в снеге.

Материалы и методы исследования

Материалы исследования собраны в рамках работы по проекту «Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру Ямало-Ненецкого автономного округа» в период с 2021-го по 2023 г., также при написании статьи использованы данные химического анализа снега, представленные в аналитическом отчете ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» [8].

Снегомерная геохимическая съемка проведена в третьей декаде марта – первой декаде апреля 2023 года при максимальной высоте снежного

покрова. Она выполнена на трех полигонах, находящихся в черте поселка Харп (контрольные участки), и на трех полигонах, расположенных за пределами населенного пункта (фоновые участки). Площадь полигонов 1 км x 1 км. Координаты полигонов указаны в таблице 1.

Таблица 1. Координаты расположения полигонов проведения снегомерной геохимической съемки

Полигон	Координаты		Полигон	Координаты	
Полигоны на фоновых участках			Полигоны на контрольных участках		
Полигон № 1	66°50'17.8"N	65°44'48.0"E	Полигон № 4	66°47'48.3"N	65°48'52.2"E
	66°50'54.3"N	65°44'47.7"E		66°47'23.6"N	65°49'40.3"E
	66°50'54.8"N	65°46'19.5"E		66°47'38.4"N	65°47'41.0"E
	66°50'16.0"N	65°46'18.5"E		66°47'08.5"N	65°48'42.0"E
Полигон № 2	66°49'58.8"N	65°48'32.0"E	Полигон № 5	66°48'45.6"N	65°47'58.4"E
	66°49'59.4"N	65°50'17.8"E		66°48'20.6"N	65°48'01.4"E
	66°49'26.1"N	65°49'06.0"E		66°48'28.4"N	65°49'27.7"E
	66°49'47.1"N	65°50'36.8"E		66°48'58.5"N	65°48'49.0"E
Полигон № 3	66°46'24.6"N	65°50'56.4"E	Полигон № 6	66°49'24.0"N	65°47'33.2"E
	66°46'50.7"N	65°51'23.6"E		66°49'35.4"N	65°48'56.0"E
	66°46'12.8"N	65°51'52.4"E		66°48'58.9"N	65°48'07.5"E
	66°46'37.5"N	65°52'20.4"E		66°49'06.1"N	65°49'05.9"E

Полигон № 1. Фоновый участок. Расположен в 2,5 км на северо-запад от пгт Харп, в 2 км на восток находится Северная железная дорога, а в 22 км на запад разрабатывается месторождение «Центральное», на котором открытым способом добываются хромовые руды. Полигон находится на отрогах массива Рай-Из восточного макросклона Полярного Урала (рис. 1). Северо-восточная часть представляет собой возвышенную наклонную предгорную равнину на высотах 160-180 м, в долине безымянного ручья. Юго-западная половина лежит в низкогорье на склонах и куполовидных вершинах отрогов массива Рай-Из с максимальными отметками 230-265 м. Крутизна склонов составляет 7-13%. Крайняя юго-западная часть представляет собой низкогорное слабонаклонное к югу плато на высоте 240 м. Участок пересекается безымянным ручьем, который берет начало на западном склоне массива Рай-Из на высоте около 560 м. Ручей питается талыми водами снежников и имеет протяженность от истока до устья 7,7 км. По территории полигона ручей протекает в своем среднем течении на расстоянии 4,5-4,6 км от истока. В русле ручья распространены старичные озера. В северо-западной части участка расположено озеро площадью 0,8 га, связанное протокой с ручьем. Пологонаклонные поверхности представлены лесотундрой, склоны гор поросли хвойным лесом, выше 210-220 м начинается гольцовый пояс [8].

Полигон № 2. Фоновый участок. Находится на левом берегу реки Сось на расстоянии 1,2 км на северо-восток от пгт Харп (рис. 1). Территория представляет собой возвышенную наклонную предгорную равнину на высотах 140-160 м. Поверхность покрыта еловым лесом высотой около 5 м, с отдельными лиственницами и с примесью березы. На участке протекает безымянный ручей, который впадает в реку Сось. Напочвенный покров сформирован кустарниками, кустарничками и мхами.

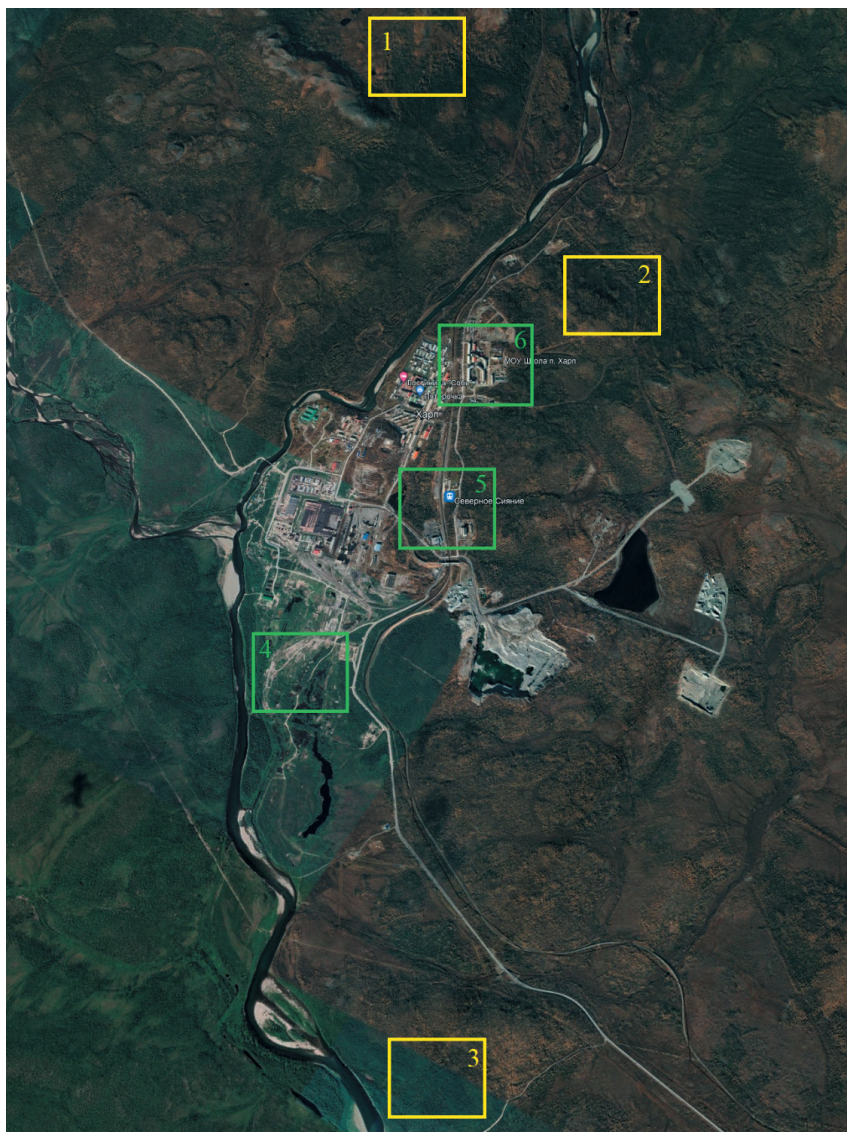


Рис. 1. Карта-схема расположения полигонов геохимической снегомерной съемки в пгт Харп и его окрестностях

Полигон № 3. Фоновый участок. Расположен на расстоянии 1,5 км на юг от населенного пункта (рис. 1). Между рекой Сось и ручьем Гэрд-Из-Шор участок пересекается увалом высотой 118 м с пологонаклонной вершиной, южным затяжным и северо-западным коротким покатым склоном крутизной около 7%. Увал покрыт густым, преимущественно еловым лесом высотой 5-8 м, с отдельными лиственницами, с примесью березы. На южном склоне на элементах долинного комплекса р. Сось увеличивается роль мелколиственных пород – березы и ольхи. Напочвенный покров представлен кустарниками, кустарничками и мхами.

Полигон № 4. Контрольный участок. Располагается в южной промышленной части пгт Харп. По территории проложены ветка заброшенной железной дороги и грунтовые дороги, находится множество разрушенных бетонных строений, металлолом, остатки бетонных плит. По восточной границе полигона проходит автомобильная дорога с твердым покрытием, соединяющая поселок с городом Лабытнанги, на расстоянии 110 м расположена действующая Северная железная дорога (рис. 1).

Полигон № 5. Контрольный участок. Находится в восточной части населенного пункта в районе функционирования железнодорожного полотна и железнодорожной станции Харп-Северное Сияние. Также на участке имеется автозаправочная станция, электроподстанция, гаражи. Функционируют автодороги с твердым покрытием (рис. 1).

Полигон № 6. Контрольный участок. Селитебная зона. На участке построены многоквартирные дома, общеобразовательная школа, спортивная школа (рис. 1).

На каждом полигоне отбирались смешанные пробы методом конверта. Шаг отбора проб 250-300 м. Всего на полигоне отбирались пробы из 25 точек, смешанная проба выполнялась из пяти отдельных проб. Общее количество точек на всех полигонах 125, из которых отобрано 50 смешанных проб (по 10 смешанных проб на каждом полигоне). Пробы отбирали с помощью снегомера весового ВС-43 со всей снежной толщии за исключением нижних 5 см, прилегающих к почвенно-растительному покрову. Объединенные пробы снега помещались в пластиковые 20-литровые контейнеры и растапливались при комнатной температуре.

Химический состав снега анализировался в аккредитованной испытательной лаборатории Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Ямало-Ненецком автономном округе» и химико-аналитической лаборатории ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». В полученных растворах определяли водородный показатель рН, удельную электропроводность, аммоний-ионы, нитрат-ионы, сульфат-ионы, хлорид-ионы, нефтепродукты, фенолы (общие и летучие), Fe (общ.), Cr VI, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb.

Геохимическую нагрузку на окружающую среду оценивали на осно-

вании расчета суммарного показателя химического загрязнения снега (Z_c), который характеризует степень химического загрязнения снега обследуемых территорий вредными веществами различных классов опасности и определяется как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле: $Z_c = K_{c1} + \dots + K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n-1)$, где n – число определяемых компонентов, K_{ci} – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением. При расчете Z_c использовались следующие компоненты: нефтепродукты, фенолы, Fe (общ.), Cr VI, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb.

Уровни загрязнения снежного покрова и соответствующие им градации экологической опасности представлены в соответствии с [9; 5] (табл. 2).

Таблица 2. Уровни загрязнения снежного покрова и соответствующие им градации экологической опасности

Уровень загрязнения	Уровень экологической опасности	Суммарный показатель загрязнения снега, Z_c
Низкий	Неопасный	< 32
Средний	Умеренно опасный	32-64
Высокий	Опасный	64-128
Очень высокий	Очень опасный	128-256
Максимальный	Чрезвычайно опасный	> 256

В ходе исследования проведено сравнение между собой геохимических показателей снега фоновых и контрольных участков. Вследствие того, что содержание загрязняющих веществ в снеге не нормируется, оценка состояния окружающей среды осуществлялась также на основании сравнения полученных результатов лабораторных испытаний со средними региональными значениями содержания контролируемых компонентов в снежном покрове на территории Приуральяского района Ямало-Ненецкого автономного округа [10].

Результаты и обсуждение

Исследования физико-химических свойств показали, что на фоновых полигонах рН растворов талого снега изменяется от 6,76 до 6,94, то есть они относятся к нейтральному типу. На полигонах, находящихся в черте населенного пункта, наблюдается незначительное подкисление растворов, рН достигает 6,24-6,34 – слабокислая реакция среды (табл. 3). Подкисление относительно фоновых территорий составляет в среднем 0,5.

В снежном покрове фоновых участков большинство элементов имеют показатели ниже, чем установлено средними региональными значениями для Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Исключение составляет концентрация сульфат- и хлорид-ионов. При среднерегionalном значении сульфат-ионов 0,47 мг/дм³ на фоновых участках содержание варьирует в пределах 0,55-1,48 мг/дм³. Концентрации сульфат-ионов в черте пгт Харп выше среднерегionalных, характерных для Приуральского района, однако не превышают показатели с фоновых участков и находятся в пределах 0,69-1,17 мг/дм³. Концентрации гидрокарбонатов как на фоновых, так и на контрольных полигонах изменяются от 0,90 до 3,42 мг/дм³.

Таблица 3. Концентрации химических веществ и элементов в пробах талого снега + в пгт Харп и его окрестностях

Водородный показатель	Уд. электропроводность	Взвешенные вещества	Сухой остаток	Аммоний-ионы	Нефтепродукты	Нитрат-ионы	Сульфат-ионы	Фенолы (общие и летучие)	Хлорид-ионы	Fe (общ.)	Cr VI	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
pH	мкСм/см	мг/дм ³														
Фоновый полигон № 1																
2021 год																
6,81	16,44	< 0,5	11,56	< 0,05	0,031	1,02	1,48	< 0,0005	1,13	< 0,05	< 0,0002	< 0,01	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0002
2023 год																
6,92	20,3	< 0,5	9,8	< 0,05	0,017	0,89	0,94	< 0,0005	1,15	< 0,05	< 0,0002	< 0,01	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0002
Фоновый полигон № 2																
2023 год																
6,78	12,40	< 0,5	13,2	< 0,05	0,016	0,70	0,78	< 0,0005	< 0,05	< 0,05	< 0,0002	< 0,01	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0002
Фоновый полигон № 3																
2021 год																
6,94	17,74	< 0,5	11,2	< 0,05	0,027	0,73	0,75	< 0,0005	0,87	< 0,05	< 0,0002	< 0,01	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0002
2023 год																
6,76	20,1	< 0,5	13,0	< 0,05	0,023	0,70	0,55	< 0,0005	0,89	< 0,05	< 0,0002	< 0,01	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0002
Контрольный полигон № 4																
2022 год																
6,28	16,34	1,6	19,36	0,34	0,075	0,96	1,17	0,0009	1,34	0,240	0,0012	< 0,01	< 0,0002	0,0014	0,0010	0,0019

Продолжение таблицы 3

Водородный показатель	Уд. электропроводность	Взвешенные вещества	Сухой остаток	Аммоний-ионы	Нефтепродукты	Нитрат-ионы	Сульфат-ионы	Фенолы (общие и летучие)	Хлорид-ионы	Fe (общ.)	Cr VI	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
рН	мкСм/см	мг/дм ³														
2023 год																
6,32	18,27	1,6	18,24	0,27	0,081	0,94	1,24	0,0009	1,32	0,238	0,0012	< 0,01	< 0,0002	0,0017	0,0012	0,0021
Контрольный полигон № 5																
2023 год																
6,24	15,4	2,4	21,5	0,48	0,089	1,69	1,52	0,0009	1,46	0,257	0,0025	0,01	< 0,0002	0,0008	0,0012	0,0024
Контрольный полигон № 6																
2023 год																
6,35	14,2	1,4	19,6	0,14	0,064	1,49	0,69	0,0008	0,85	0,102	0,0025	< 0,01	< 0,0002	0,0004	0,0008	0,0017
Средние региональные значения содержания контролируемых компонентов в снежном покрове на территории Приуральского района, в мг/дм ³																
-	-	-	-	0,22	0,031	0,81	0,47	0,0009	0,65	0,104	0,0025	0,006	0,0027	0,0023	0,0005	0,0017

Концентрации хлорид-ионов на фоновых полигонах № 1 и 3 превышают установленные среднерегиональные (0,65 мг/дм³) и достигают 0,87-1,13 мг/дм³. На фоновом полигоне № 2 содержание хлорид-ионов ниже предела обнаружения. Концентрации нитрат-ионов на всех фоновых участках либо ниже региональных значений (0,81 мг/дм³), либо близки к ним.

Несколько иная ситуация наблюдается с содержанием и распределением загрязняющих веществ в черте населенного пункта. На всех контрольных участках в пробах снега фиксируется двухкратное превышение количества нефтепродуктов над среднерегиональным показателем, установленным для Приуральского района, и трех-, четырехкратное превышение над концентрациями фоновых участков. Наибольшая кратность превышения наблюдается на участках № 4, где находится заброшенная производственная база, и № 5, где расположена железнодорожная станция и автозаправка.

В отличие от фоновых участков, где мы не наблюдали присутствие аммоний-ионов, на всех объектах в черте поселка фиксируется данное соединение, а на полигонах № 4 и 5 его концентрация выше региональ-

ного фона, рассчитанного для Приуральского района ЯНАО в 1,5-2 раза. Концентрации нитрат-, сульфат- и хлорид-ионов также возрастают по сравнению с рассчитанным региональным фоном в 2-3 раза, однако существенно не отличаются от фоновых точек.

Количество фенолов на территории пгт Харп сопоставимо с показателями регионального фона, свойственного для Приуральского района, и не превышает 0,0009 мг/дм³. Однако на фоновых участках фенолы зафиксированы не были.

Железо появляется в пробах, отобранных в населенном пункте. Его содержание изменяется от 0,102 мг/дм³ на полигоне № 6, что не превышает установленный региональный фон 0,104 мг/дм³, до 0,238 мг/дм³ на полигоне № 4 и 0,257 мг/дм³ (табл. 3). На фоновых полигонах количество железа в отобранных пробах ниже предела обнаружения.

Хром VI, отсутствовавший на фоновых участках в незначительном количестве, фиксируется в населенном пункте. Концентрации варьируют в пределах 0,0012-0,0025 мг/дм³, что не превышает региональный фон, установленный для Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

Тяжелые металлы Cu, Zn, Pb в незначительном количестве фиксируются в черте населенного пункта в точках, находящихся вблизи автомобильных и железной дорог. Содержание меди изменяется от 0,0004 до 0,0017 мг/дм³, что выше, чем на фоновых участках, где химический элемент не обнаружен, но ниже регионального значения, установленного для Приуральского района – 0,0023 мг/дм³. Концентрации цинка находятся в пределах 0,0008-0,0012 мг/дм³, это выше, чем на фоновых участках (кратность превышения 1,6 и 2). Свинец, который не был выявлен на фоновых участках, отмечен в черте населенного пункта в количестве 0,0017-0,0024 мг/дм³, при расчетном фоновом уровне, характерном для Приуральского района, равном 0,0017 мг/дм³ (табл. 3).

Суммарный показатель загрязнения снега изменяется от 25 до 53. Наименьшее значение показателя наблюдается в селитебной зоне (полигон № 6). Уровень загрязнения – низкий, по уровню экологической опасности территории безопасна.

На полигоне № 5, где расположены железнодорожная станция и автозаправка, а также проходит автомобильная дорога, фиксируется наиболее высокий суммарный показатель загрязнения – 53. Уровень загрязнения – средний, уровень экологической опасности – умеренно опасный.

На полигоне № 4, расположенном на въезде в населенный пункт, суммарный показатель загрязнения равен 39. Несмотря на то, что данное значение близко к границе низкого и среднего уровней загрязнения, перевес все же идет в сторону среднего загрязнения и умеренной экологической опасности.

Таблица 4. Уровни загрязнения снежного покрова и соответствующие им градации экологической опасности

№ контрольного полигона	Суммарный показатель загрязнения снега, Zc	Уровень загрязнения	Уровень экологической опасности
4	39	Средний	Умеренно опасный
5	53	Средний	Умеренно опасный
6	25	Низкий	Неопасный

Наибольший вклад в загрязнение всех контрольных полигонов вносят тяжелые металлы (Cu, Pb, Cr, Fe), а также нефтепродукты. Кратность превышения над уровнем фоновых полигонов наибольшая по меди, свинцу и хрому. Загрязнение снежного покрова в черте населённого пункта медью, свинцом и нефтепродуктами связана, в первую очередь, с эксплуатацией автотранспорта. Хром имеет наибольшую кратность превышения в транспортной зоне на полигонах 5 и 6.

Заключение

Минерализация снеговых вод на территории населенного пункта Харп несколько возрастает по сравнению с фоновыми. Также происходит незначительное подкисление снеговых вод в черте населенного пункта. В составе талых снежных вод как на фоновых участках, так и на территории населенного пункта преобладают сульфат- и хлорид-ионы. В талых водах населенного пункта появляются аммоний-ионы и нитрат-ионы.

Концентрации всех проанализированных тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cr, Mn, Ni, Zn), за исключением Fe, не превышают региональные значения, установленные для Приуральского района. Иная ситуация с нефтепродуктами. Кратность их превышения как над фоновыми участками, так и над региональным значением, установленным для Приуральского района, – 3-4 раза. Фенолами фоновые и контрольные участки не загрязнены.

Снежный покров селитебной зоны имеет низкий уровень загрязнений, по уровню экологической опасности – неопасный. На участках, приуроченных к промышленной и транспортной инфраструктуре, уровень загрязнения снега средний, уровень экологической опасности – умеренный.

Список источников

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
2. Engelhard C., De Toffol S., Lek I. et al. Environmental impacts of urban

- snow management - The alpine case study of Innsbruck // *Sci. of Tot. Environ.* 2007. Vol. 382. Iss. 2-3. P. 286-294.
3. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 181 с.
 4. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall // *Sci. of Tot. Environ.* 2006. Vol. 362. Iss. 1-3. P. 143-156.
 5. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География.* 2012. № 4. С. 14-24.
 6. Русакова М.А., Агбалян Е.В., Колесников Р.А., Шинкарук Е.В., Попова Т.Л., Ефимова Н.В., Винокуров М.В. Оценка рисков здоровью населения арктических городов // В книге: *Связь климатических изменений с изменениями биологического и ландшафтного разнообразия Арктики и Субарктики. Тезисы докладов международного симпозиума.* Отв. редактор А.Ю. Левых, ред. перевода Н.В. Ганжерли. Ишим, 2022. С. 48-49.
 7. Русакова М.А., Колесников Р.А., Шинкарук Е.В. Экологическая обстановка как фактор влияния на здоровье населения арктического города // В сборнике: *Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции: в 3 т.* Российский университет дружбы народов. Москва, 2022. С. 429-432.
 8. Выбор места размещения природно-рекреационного парка (зоопарка) на территории восточного макросклона Полярного Урала и его окрестностей: Аналитический отчет / ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»; Андреев Г.А., Колесников Р.А., Краев Г.Н., Моргун Е.Н., Шеин А.Н. Салехард, 2021. 31 с.
 9. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 2006. 7 с.
 10. Справочник по применению региональных значений содержания контролируемых компонентов на региональных полигонах экологического мониторинга при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Тюмень, 2020. 14 с.

Сведения об авторах

Колесников Роман Александрович, кандидат географических наук, специалист в области охраны окружающей среды, ведущий научный сотрудник ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Эксперт

Национального арктического научно-образовательного консорциума, эксперт ситуационного центра сферы туризма Российского государственного университета туризма и сервиса, член Международной ассоциации ландшафтной экологии. Автор и соавтор более 70 научных работ. Область научных интересов: охрана окружающей среды и рациональное природопользование, геоэкология, геохимия, ландшафтоведение, почвоведение и география почв, палеоэкология и экологическое прогнозирование, рекреационное природопользование, экономическая география.

Локтев Ростислав Игоревич, научный сотрудник ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», заместитель председателя Совета молодых учёных и специалистов при губернаторе ЯНАО, специалист в сфере рекреационной географии, сервиса и туризма. Победитель Всероссийского конкурса «Мастера гостеприимства». Автор и соавтор 32 научных работ. Область научных интересов: рекреационное природопользование, геоэкология, география, геоинформационные системы.

Шинкарук Елена Владимировна, заведующий химико-аналитической лабораторией ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Автор и соавтор 76 научных работ. Сфера научных интересов: охрана окружающей среды, биология, экология, исследования в испытательных лабораториях.

Моргун Евгения Николаевна, ведущий научный сотрудник ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», докторант Института географии РАН. Автор и соавтор более 120 научных публикаций, 6 монографий, 2 учебно-методических пособий, 3 базы данных зарегистрированы в Роспатенте РФ. Председатель Общественного совета департамента природных ресурсов и экологии ЯНАО. Сфера научных интересов: экология, почвоведение, охрана природы, охрана окружающей среды, заповедное дело, кочевое образование.

Ильясов Руслан Михайлович, научный сотрудник ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Автор и соавтор более 40 научных публикаций. ГИС-специалист и картограф. Ключевые научные работы посвящены методам применения технологий БПЛА. Сфера научных интересов: экология, картография, ДЗЗ, ГИС и охрана окружающей среды.

Андреев Георгий Александрович, научный сотрудник ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», проектный руководитель МОЭО «Зеленая Арктика», участник и организатор пяти волонтерских экспедиций на острова Белый и Вилькицкого и полуостров Ямал, идейный вдохновитель и руководитель проекта комплексной подготовки «Волонтеры Арктики».

Участие авторов

Колесников Р.А. – проведение научного исследования, сбор и обработка полевых материалов, проведение геохимической снегомерной съемки, анализ результатов химических анализов, написание текста статьи.

Локтев Р.И. – сбор и обработка полевых материалов, проведение геохимической снегомерной съемки, написание текста статьи.

Шинкарук Е.В. – проведение лабораторных химических анализов образцов талой снеговой воды, написание текста статьи.

Моргун Е.Н. – сбор и обработка полевых материалов, проведение геохимической снегомерной съемки, написание текста статьи.

Ильясов Р.М. – сбор и обработка полевых материалов, проведение геохимической снегомерной съемки.

Андреев Г.А. – сбор и обработка полевых материалов, проведение геохимической снегомерной съемки.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 31.08.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on August 31, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

ЭКОЛОГИЯ

ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 58.01/.07

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.006

ЯРУТКА — МАСЛИЧНАЯ КУЛЬТУРА КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Юлия Александровна Бухарова

*Ямало-Ненецкий окружной музейно-выставочный комплекс имени
И.С. Шемановского, Салехард, Россия*

karyagina.julia@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена характеристике видового биоразнообразия Ямало-Ненецкого автономного округа, в частности, роли ярутки в развитии агропромышленного комплекса территории. С образованием в 1930 году Ямальского национального (Ненецкого) округа быстрыми темпами стало развиваться сельское хозяйство. Этому способствовали правительственные документы, организующие и регламентирующие этот процесс. Большую роль в становлении земледелия округа сыграл любитель-опытник Дмитрий Мартемьянович Чубынин (1988–1955) (допускается разночтение в написании отчества: Чубынин Дмитрий Мартемьянович / Мартирианович [1, с. 7]). Разработанная им агротехника сельскохозяйственных культур использовалась хозяйствами региона и огородниками-любителями. Одним из опытов Д.М. Чубынина стала работа по культивированию ярутки полевой, сорного растения из семейства крестоцветных. Чубынин выявил, что семена ярутки содержат растительное масло, а само растение в условиях Крайнего Севера не проявляет свойств сорняка. В статье собраны сведения из публикаций о выращивании ярутки в округе, её исследовании как технической и пищевой культуры и результатах внедрения в производство.

Ключевые слова: Д.М. Чубынин, ярутка, полярное земледелие.

Цитирование: Ю.А. Бухарова. Ярутка полевая — масличная культура Крайнего Севера// Научный вестник Ямало-Ненецкого

го автономного округа. 2023. №3 (120). С. 92-100 doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.006

Original article

JARUTKA FIELD — OILSEED CROP OF THE FAR NORTH

Yulia A. Bukharova

*The Shemanovsky Museum and Exhibition Complex, Salekhard, Russia
karyagina.julia@yandex.ru*

Abstract. The article is devoted to the characterization of species biodiversity of the Yamal-Nenets Autonomous District, in particular, the role of yarutka in the development of agro-industrial complex of the territory. With the formation of the Yamal National (Nenets) District in 1930, agriculture began to develop rapidly. This was facilitated by government documents organizing and regulating this process. Dmitry Martemjanovich Chubynin (1988–1955), an amateur-experimenter, played a great role in the formation of farming in the district. The agrotechnics of agricultural crops developed by him was used by farms of the region and amateur gardeners. One of D. M. Chubynin's experiments was work on cultivation of field barnyardgrass, a weed from the cruciferous family. Chubynin found that the seeds of the broomstick contain vegetable oil, and the plant itself in the Far North does not show the properties of a weed. The article contains information from publications on the cultivation of yarutka in the district, its research as a technical and food crop and the results of its introduction into production.

Keywords: Д. М. Chubynin, yarutka, polar farming

Citation: Yu. A. Bukharova. Yarutka field – oilseed crop of the Far North// Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous district. 2023. №3 (120). P. 92-100. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.006.

Введение

Земледелие на Ямале стало стремительно развиваться в начале 1930-х годов. Толчком послужило постановление Совнаркома РСФСР от 8 сентября 1931 года «О хозяйственном развитии районов Крайнего Севера». В этот период встал вопрос об организации земледелия в про-

изводственных масштабах. Формировалась научная основа полярного земледелия, у истоков которой стоял Б.В. Патрикеев, заведующий отделом северного хозяйства Окрисполкома. Отдаленность территорий и сложности доставки способствовали стремлению агрокомплекса развиваться на основе собственных ресурсов и в интересах округа. В планах было обеспечить регион мясо-молочными продуктами и продуктами растениеводства. Существенную помощь в становлении земледелия в округе оказал агроном-любитель Д.М. Чубынин. Большинство исследователей Крайнего Севера того времени отрицало возможность земледелия в округе, ссылаясь на суровость климата, наличие вечной мерзлоты и бедность почвы. Чубынин, работая метеорологом на Обдорской гидрометеостанции, изучил архив наблюдений за температурой воздуха и пришёл к выводу о возможности земледелия в Обдорске¹. Работу по растениеводству в Заполярье Д.М. Чубынин начал в 1927 году [2, с. 2]. В этот год он получил от Всесоюзного института прикладной ботаники большой набор семян различных сортов овощных культур из числа скороспелых. Также семена разных сортов ячменя, овса и пшеницы, полученные из Пермской области, послужили исходным материалом для опытной работы. Работы Чубынина, проводимые в области растениеводства, стали импульсом к развитию земледелия в регионе. Опытник стремился обеспечить город и округ необходимыми сельскохозяйственными культурами: усовершенствовал сорта картофеля, пшеницы, ячменя и т.д.; экспериментировал с выращиванием огородных культур, возделывая на участках теплолюбивые растения. За свою трудовую деятельность награжден орденом Трудового Красного Знамени, двумя золотыми медалями Всесоюзной сельскохозяйственной выставки и другими почетными наградами.

Особого внимания заслуживает работа по выведению масличной культуры из сорняка — ярутки. Обеспечить округ маслом, стоимость которого будет ниже привозного, — основная задача, которая стояла перед опытником. «Ярутка как новое масличное растение при культивировании займет соответствующее место в сельском хозяйстве не где-либо, а именно на Крайнем Севере, в частности в Ямало-Ненецком округе, так как для южных земледельческих районов ярутка в силу своей урожайности и скороспелости является сорняком» [3, с. 2]. Посевы ярутки должны были дать возможность освободить округ от завоза растительного масла для населения и консервного дела, а также концентрированного жмыха для домашних животных. Этому растению Чубынин посвятил 20 лет жизни, доказав, что масло растения, помимо технических целей, можно использовать в пищу.

¹ Обдорск переименован в Салехард в 1933 году.

Цель статьи заключается в анализе опыта Д.М. Чубынина по выведению масличной культуры из сорняка ярутки полевой в условиях Крайнего Севера.

Материалы и методы

Отправной точкой для исследования послужила книга «Полярный земледелец», написанная дочерью Д.М. Чубынина, А.Д. Мочаловой, ценная архивными материалами о работе агронома-любителя на Крайнем Севере. Источниками исследования стали как документы личного фонда Д.М. Чубынина, хранящегося в Музейно-выставочном комплексе имени И.С. Шемановского, фонд «Документы» (фотографии, вырезки из газет и журналов, копии протоколов и выписки, подтверждающие опытную работу Чубынина по культивированию и применению ярутки полевой), так и брошюра Д.М. Чубынина «Мой опыт растениеводства в Заполярье», в которой изложена информация об агротехнике культурных растений, в том числе ярутки полевой (фонд редкой книги Научной библиотеки МВК). Дополнительными источниками стали материалы газеты «Красный Север», где Д.М. Чубынин часто публиковал результаты. О развитии земледелия на Крайнем Севере есть исследования А.С. Иваненко, Л.В. Алексеевой. Предметом этого исследования стала опытная работа Д.М. Чубынина, направленная на культивирование и применение сорного растения ярутки полевой как масличной культуры, выращенной в условиях Крайнего Севера.

Обсуждения и результаты

Ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.) – «вредный сорняк полей, встречается также на суходольных лугах, залежах, пустырях, по дорогам, на солонцах, почти по всей стране. Стебли простые или ветвистые. Нижние листья продолговатые или овальные, черешковые; стеблевые – стреловидные, сидячие, 12–15 мм в диаметре. Семена бороздчатые. Цветет с весны до осени, давая несколько поколений» [4, с. 432].

Это неприметное и даже «вредное» растение заинтересовало Д.М. Чубынина, метеоролога Салехардской метеостанции. В августе 1934 года на участке метеостанции Д.М. Чубынина привлекло растение, имевшее большое количество созревших семян. Вначале его заинтересовал необычайно ранний для климатических условий Салехарда срок созревания семян. Дальнейшее знакомство еще больше заинтересовало исследователя. По его просьбе в лаборатории Салехардской научно-исследовательской ветеринарно-оленоводческой станции сделали анализ семян неизвестного растения, который показал большое количество содержания в них мас-

ла. Позднее Д.М. Чубынин узнал, что это была ярутка, встречающаяся в пределах Ямало-Ненецкого округа единичными экземплярами и не имеющая здесь большого распространения.

Ярутка увлекла Чубынина настолько, что работы по ее культивированию он проводил в течение 20 лет. Посевы проводил ежегодно семенами своего урожая на опытных делянках Салехардской метеостанции, а в 1937 году увеличил посевные площади за счет производственного участка Салехардского совхоза площадью в 100 квадратных метров. В 1939 году уже стоял вопрос о высеве семян на площадь до 0,5 гектара и устройства крытого навеса для воздушной сушки и обмолота урожая.

Ярутка – опасный сорняк земледельческих районов, потому что благодаря своей высокой урожайности успевает произвести самопосев семян раньше, чем поспевают зерновые культуры, при этом засоряет большие участки посевных площадей, а в условиях Севера начинает проявлять другие свойства. Д.М. Чубынин заметил особенность растения, проявившуюся в условиях Крайнего Севера: «...вследствие погодных особенностей лета семенные коробочки ярутки, от большой влажности в них, ко времени созревания семян и уборки урожая не раскрываются, поэтому самопосева семян не происходит» [5, с. 2]. Эту особенность он взял за основу при выращивании растения. «За четыре года (1935–1938) изучена технология возделывания растения, выявлены сроки посева, уборки, условия хранения урожая и семян» [6, с. 2]. Подробное описание агротехнических приемов выращивания ярутки изложено в книге Д.М. Чубынина «Мой опыт растениеводства в Заполярье». При культивировании ярутка показала себя как неприхотливое растение. Для выращивания культуры необходимо позаботиться о том, чтобы использовались достаточно удобренные, старопахотные, незасоренные земли. За время возделывания растения каких-либо болезней на нем обнаружено не было.

Начиная с 1934 года Д.М. Чубынин проводил анализ семян ярутки на наличие растительного масла восемь раз, результатами своей работы он делился с читателями газеты «Красный Север». Так, в апрельском выпуске за 1939 год он писал: «Из собранных около 5 граммов семян этого растения половина была передана в Салехардский ветбакинститут старшему научному сотруднику А.Г. Ревнивых. Выход масла из семян в результате произведенного им анализа получился в довольно обнадеживающем количестве. Семена урожая 1935 года были проанализированы в лаборатории эфирных масел в Москве и также подтвердили большое содержание в них растительного масла. Семена урожая 1936-го и 1937 годов были подвергнуты лабораторным анализам Всесоюзным Центральным научно-исследовательским институтом жировой промышленности в Москве. Масличность семян ярутки определилась от 32,26 процента до 34,39 процента. 8 килограммов ярутки урожая 1937 года были подвергнуты переработке

на Московском заводе «Главкондитер» и показали выход масла заводским путем 30,18 процента. При этом получен жмых ярутки масличностью в 10 процентов» [3, с. 2].

Возделывание растения в качестве культуры привело к увеличению содержания масла в семенах. «Анализ семян ярутки, полученный в первый год возделывания ее в Салехарде, показал, что в них содержится 23 процента жира, а семена посева третьего содержали 34,39 процента жира» [7, с. 27]. «Восьмой анализ семян и масла ярутки произведен в декабре 1950 года в лаборатории города Москвы, показал, что жирность семян уже 37 процентов» [1, с. 48].

В фондах МВК имени И.С. Шемановского хранится архивная выписка из Почетной книги Всесоюзной сельскохозяйственной выставки, в которой говорится: «Тов. Чубынин проводит опыт с сорняком «яруткой» в целях использования ее как кормовой и технической культуры» [8, с. 48]. Наблюдая за яруткой, Дмитрий Мартемьянович заметил, что необмолоченные растения поедаются коровами и кроликами без каких-либо последствий, а жмых по своему составу близок к льняному жмыху. Им были внесены предложения об использовании жмыха ярутки в животноводстве. Как техническую культуру ярутку предполагалось использовать для мыловарения и производства олифы.

Исследование семян ярутки в различных научно-исследовательских учреждениях, в том числе во Всесоюзном центральном научно-исследовательском институте жировой промышленности, показало, что масло ярутки пригодно в пищу: «По мнению специалистов, это масло может быть с успехом применено в рыбоконсервной промышленности» [9, с. 2]. В подтверждение этому в 1951 году Салехардский рыбоконсервный комбинат выпустил партию новых консервов [10, с. 101]. В документальном фонде МВК хранится копия протокола дегустационного совещания при Салехардском консервном заводе от 27 февраля 1951 года. В качестве дегустационных образцов консервов были представлены сырок, обжаренный в масле ярутки; сырок, копченный в масле ярутки. Для сравнения были взяты консервы, изготовленные с использованием арахисового и подсолнечного масла. Выводы по итогам дегустации были следующие: «1. Для применения масла ярутки в консервном производстве необходимо это масло осветлить до светло-золотистого цвета. 2. Считаем, что осветленное масло ярутки с успехом может применяться для приготовления консервов, копченных в масле. 3. Вопрос о пригодности масла ярутки для приготовления консервов в томатном соусе может быть решен после его рафинации и дезодорации» [11, с. 2]. Также в протоколе было отмечено: «вкусовые качества консервы в масле ярутки выше других представленных образцов. Консервы по вкусу приближаются к шпротам» [11, с. 1]. В подтверждение выпуска консервов, приготовленных с использованием

масла ярутки, в МВК хранится этикетка с консервной банки «Сырок копченый в масле ярутки» Салехардского рыбоконсервного комбината.

В августе 1954 года директор павильона «Сибирь» Всесоюзной сельскохозяйственной выставки Д. Удачин обратился в Институт питания академии медицинских наук с просьбой «всестороннего исследования нового масла на пищевые качества с целью его пригодности в пищевой промышленности и для внедрения в производство» [1, с. 50]. Д.М. Чубынин описывал масло ярутки следующим образом: «Масло ярутки светло-желтого цвета, довольно приятное на вкус, без какой-либо горечи, но с легким привкусом чеснока» [7 с. 27].

Заключение

Путь, по которому развивалось растениеводство Севера в середине XX века, был актуален для своего времени. Нужны были новаторские решения, которые смогли бы обеспечить округ продуктами растениеводства при слабо развитом транспортном сообщении. Д.М. Чубынин оказал существенную помощь в этом направлении, работая над акклиматизацией и усовершенствованием сортов сельскохозяйственных растений. Дмитрий Мартемьянович впервые вывел новую масличную культуру – ярутку – из обычного сорняка, заметив ее особенность, проявившуюся в созревании семян за полярным кругом. Посевы ярутки должны были дать возможность освободить округ от необходимости завоза растительного масла для населения и рыбоконсервного дела, а также концентрированного жмыха для домашних животных, что напрямую соответствовало политике того времени: обеспечить округ труднодоступными продуктами растениеводства. Несмотря на то, что необходимость округа в масле была высокой, внедрение масличной культуры шло медленно. Так, в статье «Полярный земледелец», опубликованной в журнале «Огонек» за 1954 год, автор пишет: «...До сих пор масло ярутки так и не применяется в консервной промышленности, – никто не возражает против него, но и никто не внедряет его в производство» [12, с. 28]. В книге «Полярный земледелец» есть информация и такого плана: «Директор Салехардской сельскохозяйственной опытной станции З.Л. Мкртчян всячески уклонялся от выполнения постановления Института полярного земледелия „Оказать всемерное содействие работе Чубынина в 1948 году и включить ярутку в план станции на 1949 год“» [1, с. 118].

В 1955 году с уходом из жизни Д.М. Чубынина работы по внедрению ярутки в промышленность остановились. После бурного подъема сельского хозяйства на Крайнем Севере в 30-х годах XX века стал наблюдаться его постепенный спад. Первые симптомы отмечают уже в конце 1950-х годов, когда упала урожайность картофеля по округу, произошли первые сниже-

ния посевных площадей, появились сбои со сбытом продукции. Связано это с развитием железнодорожного и водного транспорта, которое производило доставку овощей по рекам или с перевалкой на суда через станцию Лабытнанги. Налаживание доставки овощей на Север из южных районов привело к постепенному спаду растениеводства в округе. Неактуальным стал вопрос и дальнейшего выращивания ярутки как масличного растения. Несмотря на это, проведенная работа по окультуриванию ярутки заслуживает пристального внимания как один из интереснейших опытов по растениеводству в условиях Крайнего Севера.

Список источников

1. Мочалова А.Д. Полярный земледелец. М.: «Агробизнесцентр», 2005 – 188 с.
2. Алексеева Л.В. Становление полярного земледелия в СССР (на материалах Ямала) // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2017. – № 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sciup.org/14116445> (дата обращения: 10.07.2023).
3. Чубынин Д.М. Расширять посевы ярутки // Красный Север. – 15 апр. 1939 г. – № 66. – С. 4.
4. Алексеев Ю.Е., Вехов В.Н., Гапочка Г.П., Дундин Ю.К., Павлов В.Н., Тихомиров В.Н., Филин В.Р. Травянистые растения СССР. – М: Издательство «Мысль», 1971. – 487 с.
5. Чубынин Д.М. Ярутка // Красный Север. – 26 мая 1945. – № 102. – С. 4.
6. Без автора. Пионер земледелия на Крайнем Севере // Красный Север. – 10 июля 1939 г. – № 135. – С. 4.
7. Чубынин Д.М. Мой опыт растениеводства в Заполярье. – М.: 17-я тип. Главполиграфиздата, 1951. – 32 с.
8. Почетная книга Всесоюзной сельскохозяйственной выставки. Выписка из Центрального Государственного Архива народного хозяйства СССР. Москва, 1988 г. Рукопись. НВФ-7179. Личный фонд Д.М. Чубынина. Фонд «Документы». МВК имени И.С. Шемановского.
9. Никольский В. Пионер полярного земледелия // Красный Север. – 16 августа 1950 г. – С. 2.
10. Иваненко А.С. Первые агрономические опыты в Тюменском Приполярье. Оттиск авторский // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – Тюмень. – № 1. – 1989. – С. 101–103.
11. Протокол дегустационного совещания при Салехардском консервном комбинате. Рукопись (копия). НВФ-7179. Личный фонд Д.М. Чубынина. Фонд «Документы». МВК имени И.С. Шемановского.
12. Залыгин С. Полярный земледелец // Огонек. – № 40. – 3 октября 1954 г. – С. 27–28.

Сведения об авторе

Юлия Александровна Бухарова, 1982 г.р. Окончила в 2004 году Тобольский государственный педагогический институт имени Д.И. Менделеева, биолого-химический факультет. С 2017 года работает в Музейно-выставочном комплексе имени И.С. Шемановского, Салехард. С 2022 года в должности заведующего сектором естественной истории. Научные интересы: история земледелия Ямало-Ненецкого автономного округа.

Статья поступила в редакцию 26.07.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on July 26, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 3. (120). С. 101-121.
Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. № 3. (120). P. 101-121.

ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 574.22

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.007

ВОДОРОСЛИ ПЕРИФИТОНА И БЕНТОСА КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНО ИЗМЕНЁННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА САМОТЛОР

Галина Владимировна Винокурова¹, Владимир Викторович Кириллов¹, Сергей Валерьевич Лушников², Юлия Александровна Франк³

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

²НТО «Приборсервис», Томск, Россия

³Томский государственный университет, Томск, Россия

¹gvkim@mail.ru

¹heller53@mail.ru

²pribor@mail.tomsknet.ru

³yulia.a.frank@gmail.ru

Аннотация. Среди водных объектов Западной Сибири, находящихся под воздействием нефтегазового комплекса, наибольшие изменения произошли на озере Сомотлор. Его экосистема значительно изменилась в результате уменьшения величины акватории и объема воды, разделения водоема дамбами на 13 участков и хронического, в течение более 50 лет, нефтяного загрязнения.

В альгоценозах эпифитона и бентоса оз. Сомотлор в сентябре 2007 г. из 179 видов и внутривидовых таксонов наиболее разнообразно были представлены зеленые, диатомовые водоросли и цианобактерии, семейства Scenedesmaceae, Selenastraceae, Radiococcaceae, Achnanthaceae, Microcystidaceae, Gomphosphaeriaceae и рода *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Coelastrum*, *Xanthidium*, *Achnanthes*,

Gloeocapsa. Крайне незначительно представлены золотистые и желто-зеленые водоросли. Отличием от альгофлоры фоновых и мало нарушенных озер средней тайги является более высокое разнообразие хлорококковых по сравнению с десмидиевыми (зелеными) и хроококковых по сравнению с осцилляториевыми (цианобактериями). Наиболее благоприятные условия для вегетации водорослей сложились в центральных, изолированных от берега секторах. Менее благоприятными являются условия в секторах вдоль береговой линии, особенно у западного побережья. На грунтах с нефтяным загрязнением обилие и разнообразие водорослей выше, чем на грунтах без визуального нефтяного загрязнения. На основе сапробиологического анализа фитоперифитона и фитобентоса озера, низкого значения индекса сапробности озеро в сентябре 2007 г. характеризовалось как бетамезосапробное и мезотрофное, вода соответствовала 3-му классу удовлетворительной чистоты. Оценка экологического состояния озера по фитоперифитону и фитобентосу подтверждена гидрохимическими данными.

Ключевые слова: фитоперифитон, фитобентос, Самотлор, нефтепродукты, загрязнение поверхностных вод.

Цитирование: Винокурова Г.В., Кириллов В.В., Лушников С.В., Франк Ю.А. Водоросли перифитона и бентоса как индикаторы состояния значительно измененной экосистемы озера Самотлор // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). №3. С. 101-121. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.007

Благодарность

Исследования поддержаны проектом Госзадания ИВЭП СО РАН № 0306-2021-0001 при частичном финансировании Правительством Ямало-Ненецкого автономного округа (проект Западно-Сибирского научно-образовательного центра) и Российского центра освоения Арктики (Салехард, Россия).

Original article

ALGAE OF PERIPHYTON AND BENTHOS AS INDICATORS OF THE STATE OF THE SIGNIFICANTLY ALTERED ECOSYSTEM OF LAKE SAMOTLOR

Galina V. Vinokurova¹, Vladimir V. Kirillov¹, Sergey V. Lushnikov², Yulia A. Frank³

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*

²*NTO "Priborservice", Tomsk, Russia*

³*Tomsk State University, Tomsk, Russia*

¹*gvkim@mail.ru*

¹*heller53@mail.ru*

²*pribor@mail.tomsknet.ru*

³*yulia.a.frank@gmail.ru*

Abstract. Among the water bodies of Western Siberia that are under the influence of the oil and gas complex, the greatest changes occurred on Lake Samotlor. Its ecosystem has changed significantly as a result of a decrease in the size of the water area and the volume of water, the division of the reservoir by dams into 13 sections and chronic oil pollution for more than 50 years. In epiphyton and benthos algocenoses of Lake Samotlor in September 2007, out of 179 species and intraspecific taxa, Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, families Scenedesmaceae, Selenastraceae, Radiococcaceae, Achnantheae, Microcystidaceae, Gomphosphaeriaceae and genera *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Coelastrum*, *Xanthidium*, *Achnanthes*, *Gloeocapsa* were the most diverse represented. Chrysophyta and Xanthophyta are extremely slightly represented. The difference from the algaeflora of background and little disturbed lakes of the middle taiga is the higher variety of chlorococcal compared to desmidium (green) and chronococcal compared to oscillatory (cyanobacteria). The most favorable conditions for the growing of algae were in the central sectors isolated from the coast. Less favorable are conditions in sectors along the coastline, especially off the west coast. On soils with oil pollution, the abundance and diversity of algae is higher than on soils without visual oil pollution. Based on the saprobiological analysis of phytoperiphitone and phytobenthos of the lake, the low value

of the saprobicity index, the lake in September 2007 was characterized as betamesosaprotic and mesotrophic, water corresponded to class 3 – satisfactory purity. Assessment of the ecological state of the lake by phytoplankton and phytobenthos is confirmed by hydrochemical data.

Keywords: phytoplankton, phytobenthos, Samotlor, petroleum products, hydrocarbons, contamination of surface water.

Citation: G.V. Vinokurova, V.V. Kirillov, Tomsk. Algae of periphyton and benthos as indicators of the state of the significantly altered ecosystem of Lake Samotlor // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (120). № 3. P. 101-121. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.007

Gratitude

The study is supported by project of the State Research Program IWEP SB RAS No. 0306-2021-0001 and was partly funded by the Yamalo-Nenets Autonomous District Government (West-Siberian Interregional Science and Education Center's project) and the Russian Center for Arctic Development (Salekhard, Russia).

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами – одна из актуальных и широко обсуждаемых. Нефтяному загрязнению подвержены сотни озер Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. Нефть в воде претерпевает значительные физико-химические изменения и встречается в разных фракциях (растворенные углеводороды, водные экстракты, эмульсии и т.д.), которые определяют ее вместе как нефтепродукты [1, 2, 3, 4, 5].

Проследить трансформацию каждой озерной экосистемы под антропогенным прессом долговременного, хронического нефтяного загрязнения не представляется возможным. Но ряд общих для озер этих регионов «эволюционных» процессов, в частности трансформацию альгоценозов, можно проследить на примере озера Самотлор. Индикаторная значимость водорослей твердых субстратов общепризнанна [6]. Кроме того, высокий уровень метаболизма водорослей [7] определяет существенную роль фитобентоса и фитоперифитона в трансформации вещества и энергии в водных экосистемах.

Озеро Самотлор, расположенное в центральной части Западно-Сибирской равнины (61°7'4"N, 76°45'32"E) на водоразделе рек Вах и Ватинский Еган, является примером водоема, экосистема которого значительно изменилась за более чем 50-летний период интенсивного и непрерывного

использования человеком. В 1968 г. по сбросному каналу из озера была спущена вода в р. Люк-Колен-Ёган. Суммарная площадь водного зеркала уменьшилась с 61.1 до 46.7 км², максимальная глубина – с 3,0 до 1,9 м. Единый ранее водоем разделен дамбами на 13 отдельных акваторий площадью 0.33–9.19 км². Берега представлены преимущественно искусственными песчаными насыпями, естественная береговая линия сохранилась только приблизительно на 30% длины общей береговой линии озера [8, 9, 10, 11, 12, 13].

На водосборном бассейне озера, находящегося в подзоне средней тайги, не осталось леса, и сейчас он представляет собой безлесную плоскую, пониженную, сильно заболоченную территорию с абсолютными отметками 35–80 м [14].

Изменился химический состав воды. До начала нефтедобычи озеро характеризовалось как водоём с низкой минерализацией, повышенным содержанием растворённых органических веществ и пониженными значениями рН, хорошо аэрировалось по всей водной толще, но летом на глубине из-за окисления жидкого торфогрунта наблюдался дефицит кислорода. В результате загрязнения нефтепродуктами, сточными и подсланевыми водами произошел сдвиг в солевом режиме, содержание хлоридов в воде увеличилось более чем в 2 раза, как и в большинстве водных объектов, эксплуатирующихся более 5 лет. Произошло изменение донных отложений. На многих участках ил, песок, дресва даже визуально загрязнены нефтью [12, 13, 15, 16, 17].

Незначительно изменились лишь климатические условия и характер питания озера, которое осуществляется за счет талых вод и атмосферных осадков. Существенна ветроволновая нагрузка: за год наблюдается всего 36 безветренных дней. В период открытой воды господствуют ветры северного и северо-западного направления со средней скоростью 3.6 м/с [14].

Все это не могло не привести к нарушению естественного режима озера и трансформации водной экосистемы. В 1968–1972 гг. водная растительность на дне озера отсутствовала, зарастания не наблюдалось. Сейчас же степень зарастания озера макрофитами достигает 70%.

Проследить трансформацию альгофлоры перифитона и бентоса оз. Самотлор в процессе трансформации самого озера не представляется возможным, поскольку данное исследование, проведенное в сентябре 2007 г., являлось первым. Однако опубликованные в 2016 г. (по сборам 2011 г.) [18] материалы о фитопланктоне и фитобентосе озер Самотлор и Вильент позволили проследить последующую после 2007 г. динамику структуры альгосообществ оз. Самотлор.

Цель данной работы – изучить структуру альгосообществ на основных субстратах (песок и поверхность макрофитов) на разных участках озера, проследить ее взаимосвязь с гидрохимическими показателями и оценить

экологическое состояние озера по показателям фитоперифитона и фитобентоса.

Результаты, полученные в 2007 г., могут в дальнейшем представлять интерес для мониторинга состояния озера и прогнозирования эволюции его экосистемы.

Объекты и методы исследования

Пробы перифитона (на листьях и стеблях тростника, рогоза, осоки, стрелолиста, рдеста) и бентоса (заиленный песок) отобраны в сентябре 2007 г. в 11 секторах озера (см. рис. 1) на глубине 0.20–1.35 м стандартными гидробиологическими методами [6].

Таксономическую принадлежность водорослей устанавливали под световым микроскопом ($\times 650$ раз) с использованием отечественных «Определителей пресноводных водорослей СССР».

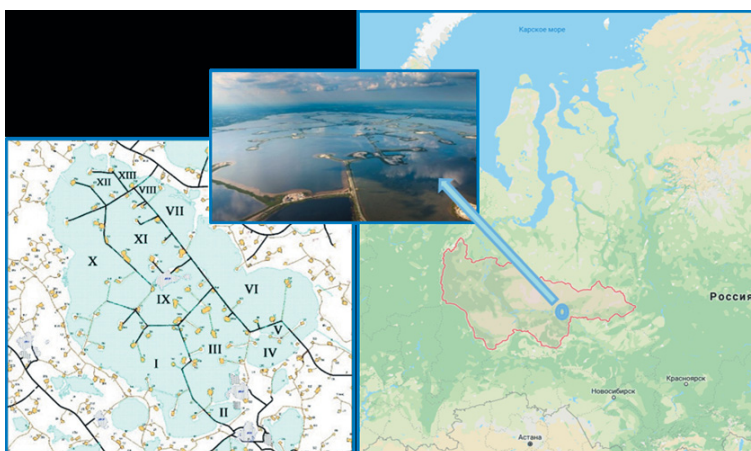


Рис. 1. Схема расположения оз. Самотлор и деления его на секторы

Подсчет клеток водорослей проводили в камере Нажотта. В доминирующий комплекс включены виды с численностью $\geq 10\%$ от общей численности. Частоту встречаемости вида оценивали как отношение числа проб, в которых он присутствовал, к общему числу проб, частоту доминирования вида – как отношение числа проб, в которых данный вид доминировал, к общему числу проб. Для анализа структуры сообществ использовали индекс видового разнообразия Шеннона.

Для определения экологической и географической характеристики водорослей использованы сведения из работы С.С. Бариновой и др. [19]. Доля водорослей-индикаторов оценена относительно полного списка водорослей. Качество воды приведено в соответствии с Комплексной эко-

логической классификацией качества поверхностных вод суши [20].

Химико-аналитические работы выполнялись в аккредитованных лабораториях Экологического аналитического центра дочернего ЗАО «НижневартовскНИПИнефть» и Экоаналитического комплекса ЗАО «Региональный Аналитический Центр Механобр инжиниринг аналит» по стандартным методикам анализа пресных вод согласно действовавшему на момент проведения работ РД 52.18.595-96.

На основании гипотезы, что основное загрязнение озера идет со стороны берега в процессе дренирования и смыва, выбрана схема анализа данных по секторам, граничащим с берегом (береговые), и секторам, не имеющим связи с берегом (центральные).

Результаты

Гидрохимическая характеристика. Прозрачность воды озера в период исследования варьировала от 0.25 до 1.20 м по диску Секки, температура — от 5.2 до 13.6 °С, содержание растворенного кислорода — от 8.64 до 11.20 мг/дм³.

Центральные сектора оз. Самотлор были менее минерализованы, чем береговые, значения рН отличались незначительно (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав воды разных участков оз. Самотлор, сентябрь 2007 г. (над чертой — пределы, под чертой — среднее со стандартной ошибкой)

Показатель	Участок озера		ПДК _{кв}
	граничащие с берегом	центральные	
Общая минерализация, мг/л	$\frac{57.4-171.0}{105.67 \pm 10.51}$	$\frac{92.40-97.20}{94.80 \pm 2.40}$	1000
рН	$\frac{6.90-8.50}{7.42 \pm 0.10}$	$\frac{7.10-7.80}{7.34 \pm 0.12}$	6.5–8.5
PO ₄ ³⁻ , мг/л	$\frac{0.05-0.17}{0.10 \pm 0.01}$	$\frac{0.05-0.09}{0.06 \pm 0.01}$	0.05
NH ₄ ⁺ , мг/л	$\frac{0.09-0.40}{0.22 \pm 0.03}$	$\frac{0.20-0.45}{0.35 \pm 0.05}$	0.5
NO ₃ ⁻ , мг/л	$\frac{0.10-0.51}{0.30 \pm 0.05}$	$\frac{0.26-0.67}{0.52 \pm 0.08}$	40
БПК ₅ , мг O/дм ³	$\frac{1.28-6.72}{3.15 \pm 0.39}$	$\frac{1.60-6.72}{3.67 \pm 0.85}$	2.1
ПО, мг O/дм ³	$\frac{7.93-12.63}{10.11 \pm 0.27}$	$\frac{7.93-11.70}{9.94 \pm 0.85}$	5–7
Ni, мг/л	$\frac{0.04-0.12}{0.06 \pm 0.01}$	$\frac{0.048-0.049}{0.05 \pm 0.001}$	0.01

Продолжение таблицы 1

Показатель	Участок озера		ПДК _{вр}
	границащие с берегом	центральные	
Fe, мг/л	0.28–1.40 0.83±0.14	0.66–1.30 0.98±0.32	0.1
Zn, мг/л	0.01–1.06 0.03±0.02	0.01–0.03 0.02±0.01	0.01
Нефтепродукты, мг/л	0.02–0.14 0.06±0.01	0.03–0.13 0.07±0.02	0.05 мг/л

Содержание фосфат-иона в береговых секторах превышало его содержание в центральных секторах, азота в разных его формах, напротив, было больше в центральной части. В отличие от фосфат-ионов, содержание азота не превышало ПДК_{вр}. Легкоокисляемой органики (по БПК₅) больше в центральной части, трудноокисляемой органики (по ПО) больше в береговых секторах. Средние значения БПК₅ и ПО превышали ПДК_{вр} в 1.4–1.7 раза. Содержание Fe, Ni, Zn в секторах, имеющих связь с берегом и изолированных от берега, отличалось мало, и эти значения в 2–10 раз выше ПДК_{вр}.

На момент исследования в сентябре 2007 г. содержание нефтепродуктов в воде озера в среднем по секторам, границащим с берегом, составляло $0,06 \pm 0,01$ мг/л, в центральных секторах $-0,07 \pm 0,02$ мг/л. Это ненамного превышает ПДК_{вр} – 0,05 мг/л, хотя на озере не прекращалась добыча нефти. Концентрация нефтепродуктов в донных отложениях на большей части акватории озера не превышала 5 г/кг (рис. 2).

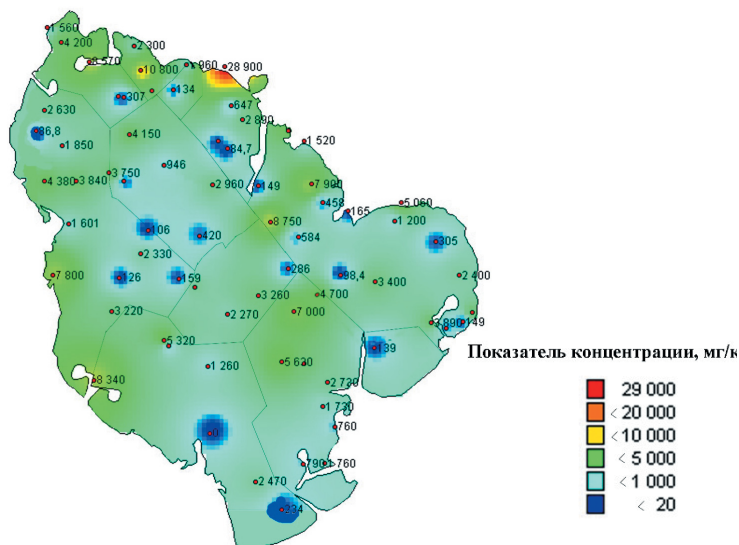


Рис. 2. Схема пространственного распределения концентрации нефтепродуктов в донных отложениях на различных участках озера Самотлор в сентябре 2007 г.

Состав и обилие водорослей. Из выявленных в сентябре 2007 г. 179 видов и разновидностей водорослей наиболее разнообразно представлены зеленые, диатомовые водоросли и цианобактерии, семейства Scenedesmaceae, Selenastraceae, Radiococcaceae, Achnanthaceae, Microcystidaceae, Gomphosphaeriaceae и рода *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Coelastrum*, *Xanthidium*, *Gloeocapsa*, *Achnanthes*. Крайне незначительно представлены золотистые и желто-зеленые водоросли. Отмечена асимметричность структуры альгофлоры перифитона и бентоса: преобладают одно- и двухвидовые семейства и рода, одно-, трехвидовые доминирующие комплексы [21].

Видовое разнообразие водорослей в центральных секторах выше такового в береговых секторах (см. табл. 2). Поскольку наиболее часто встречались только 9 видов (*Scenedesmus quadricauda* Chod. (частота встречаемости 81,8%), *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. и *Achnanthes minutissima* Kütz. (по 72,7%), *Gloeocapsa magma* (Bréb.) Kütz. emend. Hollerb., *Navicula dicephala* (Ehrb.) W.Sm., *Nitzschia sublinearis* Hust., *Cymbella ventricosa* Kütz. (по 63,6%), *Cosmarium subprotumidum* Nordst. (54,5%), *Tetraedron minimum* (A.Br.) Hansg. (45,5%)), а частота встречаемости остальных видов менее 10%, то сходство альгофлоры секторов очень низкое: при 50% уровне значимости общие виды отмечены только в секторах XI, VI, X, III. Альгофлора последних трех секторов (береговых) носит подчиненный характер по отношению к альгофлоре центрального XI сектора.

Доминирующие комплексы как по численности, так и по биомассе состояли в большинстве случаев (75,0%) из 1–3 видов. Высокая частота доминирования по численности отмечена для *Scenedesmus quadricauda* (29,2%), *S. spinosus* Chod. (20,8%), *A. minutissima* и *D. pulchellum* (по 16,7%), по биомассе – для *C. subprotumidum* (25,0%), *Pediastrum duplex* Meyen (16,7%).

Численность, биомасса водорослей, число видов и величина индекса Шеннона в секторах значительно варьируют (см. табл. 2). Вместе с тем, среднее значение численности (по всем субстратам) в центральных секторах (1884.9 ± 671.3 млн кл./м²) выше, чем в секторах, примыкающих к берегу (386.3 ± 146.2 млн кл./м²). Средняя биомасса, напротив, в центральных секторах ниже (1.7 г/м²), чем в примыкающих к берегу (6.4 г/м²). Это связано с тем, что в центральных секторах преобладают одноклеточные водоросли, а в прибрежных секторах – нитчатые зеленые водоросли из родов *Spirogira*, *Oedogonium*, *Mougeotia* и нитчатые цианобактерии родов *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Phormidium*, *Calothrix*, *Rivularia*, *Tolypothrix*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*.

Анализ структурных показателей сообществ на субстратах разного типа позволил выявить следующие особенности:

– на песчаном грунте у берега число видов (24 ± 4) и численность (827.4 ± 312.4 млн кл./м²) ниже, чем на песчаном грунте в центральных секторах (28 ± 2 и 2350.8 ± 623.8 млн кл./м²). Биомасса же на песчаном

грунте у берега ($11.5 \pm 5,5$ г/м²), напротив, выше на порядок биомассы на песках в центральной части (1.69 ± 0.7 г/м²);

– более высокое значение индекса Шеннона в центральных секторах (3.23 ± 0.32 бит/экз.) по сравнению с береговыми (2.67 ± 0.25 бит/экз.) свидетельствует о более благоприятных здесь условиях для развития водорослей по сравнению с участками, примыкающими к берегу;

– видовое разнообразие, численность и индекс Шеннона на песчаном грунте с нефтяными пятнами в среднем выше, чем на песке без видимого нефтяного загрязнения (табл. 3);

– на макрофитах число видов и обилие в береговых и центральных секторах примерно одинаково;

– разнообразие и обилие водорослей на макрофитах меньше, чем на рыхлом заилено-песчаном грунте.

Таблица 2. Структура фитоперифитона и фитобентоса на разных участках оз. Самотлор, сентябрь 2007 г. (над чертой – пределы, под чертой – среднее со стандартной ошибкой)

Показатель	Участок озера	
	граница с берегом	центральные
Численность, млн кл./м ²	$\frac{8.5-2231.6}{386.3 \pm 146.2}$	$\frac{21.5-3546.5}{1884.9 \pm 671.5}$
Биомасса, г/м ²	$\frac{0.01-50.4}{6.4 \pm 3.2}$	$\frac{0.1-4.2}{1.7 \pm 0.8}$
Число видов	$\frac{3-33}{17 \pm 2}$	$\frac{14-32}{25 \pm 3}$
Индекс Шеннона, бит/экз.	$\frac{0.82-4.11}{2.67 \pm 0.25}$	$\frac{2.57-4.37}{3.23 \pm 0.32}$
Индекс сапробности	$\frac{1.42-2.39}{1.88 \pm 0.06}$	$\frac{1.81-2.57}{2.17 \pm 0.13}$

Таблица 3. Структура альгоценозов оз. Самотлор на разном субстрате, сентябрь 2007 г. (над чертой – пределы, под чертой – среднее со стандартной ошибкой)

Показатель	Заиленный песок с нефтяным загрязнением	Заиленный песок без нефтяного загрязнения	Макрофиты
Численность, млн кл./м ²	$\frac{131.7-3546.3}{1543.9 \pm 627.2}$	$\frac{36.2-2837.6}{1245.9 \pm 467.9}$	$\frac{8.5-525.9}{98.6 \pm 41.2}$
Биомасса, г/м ²	$\frac{0.3-24.4}{5.7 \pm 4.7}$	$\frac{0.1-31.9}{8.1 \pm 4.9}$	$\frac{0.01-50.4}{4.1 \pm 3.9}$
Число видов	$\frac{18-33}{26 \pm 2}$	$\frac{13-31}{22 \pm 5}$	$\frac{3-22}{14 \pm 2}$

Продолжение таблицы 3

Показатель	Заиленный песок с нефтяным загрязнением	Заиленный песок без нефтяного загрязнения	Макрофиты
Индекс Шеннона (по численности), бит/экз.	2.84–3.79 3.17±0.19	1.53–4.37 3.05±0.44	0.07–4.11 2.29±0.39
Индекс сапробности	1.81–2.37 2.00±0.10	1.58–2.39 1.91±0.13	1.42–2.57 1.94±0.09

Эколого-географическая характеристика и оценка качества воды. Из таксонов с известной географической характеристикой в донных и эпифитных альгоценозах преобладали космополитные формы – 46,4%. Аркто-альпийские формы составляли 2,2%, бореальные – 10,6%.

Спектр галобности отражает низкую минерализацию воды озера: доля олигогалобов (индифферентов – 36.9%, галофилов – 5.0%, галофобов – 2.8%) существенно превышала долю мезогалобов – 4.5%. Последние встречались в береговых секторах у западного берега.

Среди индикаторов рН преобладали индифференты – 16.2%. Превышение доли алкалифилов+алкалибионтов (11.7%) над ацидофилами (3.4%) является отражением слабощелочной реакции среды.

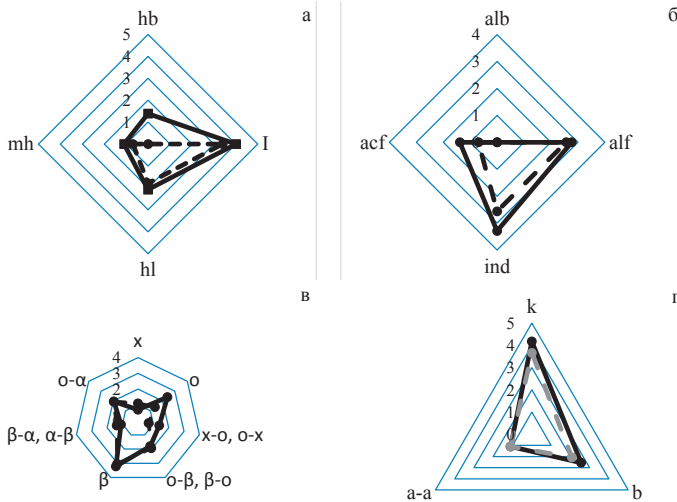


Рис. 3. Экологический спектр фитоперифитона и фитобентоса оз. Сомотлор, сентябрь 2007 г.

Примечание: а – отношение к минерализации (i – индифференты, hl – галофилы, hb – галофобы, mh – мезогалобы); б – отношение к рН (i – индифференты, alf – алкалифилы, alb – алкалибионты, acf – ацидофилы); в – отношение к содержанию органических веществ (x – ксено-, o – олигосапробионты, β – бета-, α – альфамезосапробионты). Данные представлены в относительном выражении (как ln числа таксонов). Сплошная линия – секторы, имеющие связь с берегом, прерывистая линия – центральные секторы, не имеющие связи с берегом.

Из всего списка водорослей характеристика по отношению к органическому загрязнению известна только для 41.0% форм. Большая часть из них (37.4%) – обитатели чистых вод (ксеносапробионты, олиго-бетамезосапробионты). Характеристика сапробности водорослей-доминантов варьировала от олиго-ксеносапробионтов до альфа-бетамезосапробионтов, но преобладали бетамезосапробионты.

Экологические спектры альгосообществ центральной и прибрежной зоны отличались незначительно (рис. 3) за исключением того, что в прибрежной зоне больше доля индикаторов органического загрязнения.

Оцененная по структурным и количественным показателям фитоперифитона и фитобентоса вода озера соответствует 3-му классу – удовлетворительной чистоты. Примечательно, что по видам-индикаторам и индексу сапробности наибольшее содержание органических веществ выявлено в центральных участках озера. А именно в центральных секторах по сравнению с береговыми секторами выше содержание соединений азота и величина БПК₅ (легкоокисляемая органика) (см. табл. 1).

Обсуждение

В сентябре 2007 г. значение многих гидрохимических показателей (фосфора в виде фосфат-ионов, легко- и трудноокисляемой органики, нефтепродуктов, тяжелых металлов (Fe, Ni, Zn)) превышало ПДК_{вр}. Из них в береговых секторах по сравнению с центральными было больше фосфора и трудноокисляемой органики. Примерно одинаково в береговых и центральных секторах было содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов. Легкоокисляемой органики было больше в центре. Следует отметить, что высокая концентрация Fe является природной характеристикой озер этого региона.

Не превышало значение ПДК_{вр} содержание аммиачного и нитратного азота, общая минерализация и рН. Из них азота было больше в центре, минерализация выше у берега, мало отличались значения рН.

Общая минерализация воды оз. Самотлор не превышала фоновую (в озерах средней тайги, не подвергающихся антропогенному воздействию 100–150 мг/л [1, 17]), хотя в качественном отношении произошел сдвиг в сторону повышения содержания ионов Cl– до 25.1–52.6 мг/л в результате применяемой на озере технологии добычи нефти. Активная реакция среды сдвинулась из кислой (5.0–6.0 [17]) в щелочную.

Из альгологических показателей число видов, индекс видового разнообразия, индекс сапробности, численность (мелкие одноклеточные водоросли) в центральных секторах были больше по сравнению с береговыми. Кроме того, эти показатели на песке с видимыми нефтяными пятнами превышали таковые на песке без визуального нефтяного загрязнения.

По сравнению с фоновыми и незначительно нарушенными водоемами среднетаежной подзоны Сибири в фитоперифитоне и фитобентосе Саянского пролива произошли изменения: менее представлены нитчатые формы водорослей и крупные одноклеточные водоросли, крайне незначительны золотистые и желто-зеленые водоросли. Таксономическое разнообразие десмидиевых, в частности, рода *Cosmarium*, характерное для северной альгофлоры, отмечено и в Саянском проливе. Но для альгофлоры перифитона и бентоса озера более характерны семейства и роды, представители которых являются мелкими одноклеточными формами из семейств *Scenedesmaceae*, *Selenastraceae*, *Radiococcaceae*, *Achnantheae*, *Microcystidaceae*, *Gomphosphaeriaceae* и родов *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Coelastrum*, *Xanthidium*, *Gloeocapsa*, *Achnanthes*. Наиболее часто встречались *Scenedesmus quadricauda*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Achnanthes minutissima*, *Gloeocapsa magma*, *Navicula dicephala*, *Nitzschia sublinearis*, *Cymbella ventricosa*, *Cosmarium subprotumidum*, *Tetraedron minimum*. Доминировали по численности в альгоценозах также мелкие одноклеточные водоросли *S. quadricauda*, *S. spinosus*, *D. pulchellum*, *A. minutissima*. Это не характерно для ведущих таксономических групп в фоновых и незначительно нарушенных водоемах, представители которых, как правило, имеют либо крупные размеры, либо являются нитчатыми формами. [21].

При отмеченных в таксономической структуре отличиях от фоновых и мало подверженных антропогенной нагрузке озер средней тайги, соотношение эколого-географических и сапробиологических групп водорослей было практически неизменным [21]. Среди географических групп преобладали космополиты, что свойственно для всей циркумбореальной области. Бореальные и аркто-альпийские виды немногочисленны. По отношению к галобности во всех озерах преобладали олигогалобы, обитающие в водах со слабой минерализацией. Мезагалобы хоть и встречаются во всех озерах, но их доля крайне незначительна. По отношению к водородному показателю во всех озерах велика доля индифферентов, распространены алкалифилы, что характеризует воду как нейтральную и слабощелочную.

Среди сапробиологических групп в озерах средней тайги, в том числе оз. Саянское, преобладают β -мезосапробионты. Немного уступают ей по количеству таксонов олигосапробионты. Многочисленна группа α - β -мезосапробионтов. Присутствуют в среднетаежных озерах как водоросли-индикаторы чистых вод (χ , χ - α , α - χ , α -сапробионты), так и индикаторы сильно загрязненных органикой водоемов (β - α , α - β , β - ρ , α - ρ , α , ρ -сапробионты), причем соотношение этих групп незначительно отличается в озерах с разной степенью антропогенной нагрузки. Присутствие α - ρ - и ρ -сапробионных видов, связанное с естественными природными процессами (интенсивно идущими процессами минерализации нестойких органических соединений), наблюдается в летний период во многих озерах Центральной Якутии [22].

В более поздний период исследования в июне 2011 г. в альгофлоре (фитоперифитон, фитобентос и фитопланктон) озер Самотлор и Вильент [18] так же, как и в сентябре 2007 г., отмечено невысокое таксономическое разнообразие (67 видов и в.в.т. из 4 отделов), преобладание зеленых и диатомовых водорослей, асимметричность альгофлоры, наибольшее таксономическое разнообразие в семействах Scenedesmaceae, Desmidiaceae, Closteriaceae. Эколого-географический анализ водорослей также показал преобладание широко распространенных, олигогалобных и индифферентных по отношению к активной реакции среды видов.

Полученные результаты (трансформация структуры альгосообществ в сторону мелких одноклеточных водорослей, повышение видового разнообразия и численности при загрязнении нефтепродуктами, неизменность эколого-географических и сапробиологических спектров при длительном нефтяном загрязнении) можно объяснить исходя из предположений: 1) озеро обладает значительным потенциалом самоочищения от нефтепродуктов; 2) в незначительном количестве нефтепродукты и соединения, образующиеся в процессе их трансформации, оказывают стимулирующее действие на развитие водорослей перифитона и бентоса. Выделенные из литературных источников причины данных процессов могут быть характерны и для других озерных экосистем Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов.

Рассмотрим возможные причины. На момент исследования содержание нефтепродуктов в воде оз. Самотлор ненамного превышало ПДК_{вр} – 0,05 мг/л, хотя на озере более полувека не прекращалась добыча нефти и существуют всевозможные вторичные источники загрязнения ее компонентами. В озерах нефтегазодобычи изначально сформировались микробиомы (сообщества бактерий, водных грибов, водорослей), не только адаптированные к повышенной концентрации, но и способные перерабатывать нефтепродукты. Одноклеточные водоросли обладают врожденной или приобретенной способностью включаться в цикл переработки нефтепродуктов. Такое свойство проявляют представители хлорококковых зеленых водорослей [1, 2, 3, 23, 24, 25, 26], а именно они преобладают по разнообразию и обилию в оз. Самотлор.

Немаловажным является тот факт, что сама нефть содержит «родные» многокомпонентные микробные сообщества. Микробиомы были захоронены одновременно с растительными остатками, долгое время перерабатывали их, находясь под толстым слоем перекрываемых пород. Микробная трофическая цепь в нефтяных пластах основывается на биодеградации нефти, ускоряющейся при поступлении кислорода [24, 27, 28, 29]. Соответственно, нефть поступает в оз. Самотлор со своим набором микроорганизмов, в том числе нефтеокисляющих, которые интенсивно включаются в процесс ее биодеградации при наличии кислорода в тол-

ще воды. К этому процессу подключаются эволюционно сложившиеся в озере комплексы микроорганизмов, в состав которых входят и водоросли перифитона и бентоса.

К элементам природного потенциала самоочищения озер нефтегазодобычи относятся особенности морфологических и гидрофизических характеристик. Они мелководные, хорошо прогреваемые в летнее время. Соответственно, активность вегетирования микроорганизмов (бактерий, дрожжевых грибов, мицелиарных грибов, водорослей) высока, и происходит биodeградация углеводов. Повышенная регистрация соединений азота вполне возможно имеет бактериальное происхождение. Высокие значения аммиачного и нитратного азота выявлены в донных отложениях фоновых озер Нижневартовского региона [24]. Соответственно, в центральных секторах мелкого и хорошо прогреваемого оз. Самотлор при высокой численности одноклеточных водорослей наблюдается повышенное содержание аммиачного и нитратного азота как результат биodeградации нефтепродуктов.

В отличие от одноклеточных водорослей нитчатые водоросли обладают способностью к высокому и избыточному накоплению элементов [30, 31]. В береговых секторах оз. Самотлор преобладают именно нитчатые зеленые и сине-зеленые водоросли, которые, возможно, не столько перерабатывают нефтепродукты, сколько накапливают их в своих клетках, поэтому соединений азота биогенного происхождения здесь меньше, чем в центральных секторах.

Следовательно, в оз. Самотлор наблюдаются два типа биоремедиации — переработка нефтепродуктов одноклеточными водорослями (в центральных секторах) и накопление их в клетках нитчатых водорослей (в береговых секторах).

Альгобактериальные ассоциации, обладая разными ферментными системами, при совместном действии способны полнее и быстрее разлагать углеводородные субстраты. Синергетическая эффективность при разложении нефтяных углеводородов бактериальными, дрожжевыми клетками уже установлена [32].

Также к элементам природного потенциала самоочищения озер нефтегазодобычи относятся постоянные ветры (всего 36 безветренных дней в году [14]), благодаря которым происходит перемешивание водной толщи мелководного оз. Самотлор, насыщение ее кислородом и, как следствие, — ускорение окисления нефтепродуктов.

Помимо эволюционно сложившегося высокого потенциала самоочищения оз. Самотлор, как и других озер этого региона, от нефтепродуктов существует приобретенный потенциал. Повышению (приобретению) потенциала самоочищения, во-первых, способствует отсыпка песком берегов и основания дамб. С течением времени песок заиливается, а этот

субстрат является оптимальным для углеводородокисляющих бактерий. Причем их высокая активность сохраняется в пределах 5–25 °С [24].

Углеводородокисляющие микробобиомы, адаптированные к местным условиям и изначально присутствующие в фоновых водоемах, активизируются при вбросе нефтепродуктов в водную экосистему при их добыче и/или утечке при антропогенной переработке [24, 33]. Перерабатывая нефтепродукты, углеводородокисляющие бактерии и грибы, в свою очередь являются поставщиками легкоусвояемых биогенов, которые используют в своем метаболизме микроводоросли. Неслучайно в нашем исследовании обилие и разнообразие мелкоклеточных водорослей на загрязненных нефтью заиленных песках значительно выше, чем на чистых песках.

Кроме того, стимуляция роста может быть связана со способностью водорослей утилизировать нефть как источник органических веществ. Угнетающее влияние на водоросли нефть оказывает в сыром состоянии и в больших концентрациях [34, 35, 36, 37].

Таким образом, загрязнение оз. Самотлор нефтепродуктами происходит, но также происходит самоочищение от них и, возможно, интенсивное самоочищение, причем преобладает загрязнение нефтепродуктами со стороны берега, т.е. в результате деятельности человека при транспортировке и переработке добытой нефти.

Фосфора в воде береговых секторов содержится больше, чем в центральных, возможно, потому что нефть и продукты ее переработки поступают в озеро со стороны берега, а его в нефти содержится до 10% [38].

Несмотря на долгие годы эксплуатации оз. Самотлор сохранилась низкая минерализация, поскольку характер питания озера — низко минерализованные атмосферные осадки. В связи с этим, в альгоценозах преобладают виды — олигогалобы — индикаторы невысокой минерализации.

Сырая нефть содержит ряд тяжелых металлов (V, Ni, Fe, Al, Cu и т. д.) в следовых концентрациях [24], но содержание Fe, Ni, Zn в воде оз. Самотлор в 2–10 раз выше ПДКвр и мало отличается в секторах, имеющих связь с берегом и изолированных от берега. Их много и в донных отложениях. Возможно, за многие годы произошло накопление тяжелых металлов в озере при отсутствии возможности очищения от них. Поглощающие тяжелые металлы нитчатые водоросли являются временным фактором самоочищения воды озера — при отмирании они становятся вторичным источником загрязнения тяжелыми металлами. Таким образом, высокое содержание тяжелых металлов в озере имеет антропогенную причину. Но следует иметь в виду, что высокая концентрация Fe является природной характеристикой озер этого региона.

Выводы

1. Несмотря на выявленную в сентябре 2007 г. перестройку структурно-функциональных характеристик альгоценозов перифитона и бентоса оз. Самотлор (по сравнению с фоновыми и мало нарушенными озерами средней тайги) в сторону мелких одноклеточных зеленых, сине-зеленых, диатомовых водорослей, эколого-географический и сапробиологический спектр не отличается от спектра альгофлоры фоновых озер. Учитывая общепризнанную индикаторную значимость водорослей твердого субстрата, можно говорить о незначительных изменениях общей минерализации, рН, содержании органических веществ и нефтепродуктов в воде озера Самотлор.

К причинам высокого естественного и приобретенного потенциала самоочищения озера (на основе экстраполяции литературных данных) можно отнести следующие факторы: наличие эволюционно сложившегося микробиома (бактерии, грибы, водоросли), не только устойчивого к нефтяному загрязнению, но и использующего нефтепродукты как источник питания; активация их жизнедеятельности в результате постоянного поступления нефтепродуктов, хорошей прогреваемости неглубокого озера, длительного светового периода; наличие благоприятного для развития водорослей субстрата (заиленного песка); постоянные ветры, приводящие к насыщению воды озера кислородом.

2. Наиболее благоприятные условия для вегетации водорослей сложились в центральных, изолированных от берега секторах. Менее благоприятными являются условия в секторах вдоль береговой линии. Особенно это относится к западному побережью (I и X сектора).

Индикационная оценка состояния озера по фитоперифитону и фитобентосу в сентябре 2007 г. не показала существенного загрязнения озера нефтепродуктами и органическими соединениями. На основе сапробиологического анализа фитоперифитона и фитобентоса озера, низкого значения индекса сапробности озеро в сентябре 2007 г. характеризовалось как бетамезосапробное и мезотрофное. Вода соответствовала 3-му классу удовлетворительной чистоты.

3. Выявленное повышенное содержание тяжелых металлов в воде озера можно объяснить их накоплением, тем не менее на вегетацию водорослей грунтов данные концентрации металлов не повлияли — абберрантных форм водорослей в бентосе и перифитоне не отмечено.

4. Оценка состояния озера по фитоперифитону и фитобентосу подтверждена гидрохимическими данными.

Заключение

К 2007 г. экосистема озера, адаптировавшись к уменьшению величины акватории и объема воды, к разделению водоема на сектора и хроническому в течение 50 лет нефтяному загрязнению, вновь пришла в стабильное состояние, но уже на «другом уровне», при ином составе биоты. Возможно, это объясняется и тем, что нефтяные углеводороды не являются эволюционно инородными для микробиоценозов в районах с запасами нефти.

Список источников

1. Бачурин Б.А. Идентификация нефтяной составляющей органического загрязнения гидросферы / Б.А. Бачурин // Водные ресурсы, геологическая среда и полезные ископаемые Южного Урала. – 2000. – С. 143-153.
2. El-Sheekh, M.M. Use of algae as indicators for environmental pollution / M.M. El-Sheekh // Egypt. J. Botany. – 1998. – № 38. – P. 169-188.
3. El-Sheekh M.M., El-Naggar A.H., Osman M.E.H., Haider A. Comparative studies on the green algae *Chlorella homosphaera* and *Chlorella vulgaris* with respect to oil pollution in the River Nile / M.M. El-Sheekh, A.H. El-Naggar, M.E.H. Osman, A. Haider // Water Air and Soil Pollution. – 2000. – № 124. – P. 187-204.
4. Перетрухина И.В., Ильинский В.В., Литвинова М.Ю. Определение скоростей биодеградации нефтяных углеводородов в воде литорали Кольского залива / И.В. Перетрухина, В.В. Ильинский, М.Ю. Литвинова // Вестник МГТУ. – 2006. – Т. 9. – № 5. – С. 828-832.
5. Eshagberi G.O. The Effects of Oil Pollution on the Environment / G.O. Eshagberi // The Nigerian Academic Forum. – 2012. – Vol. 23. – №. 1. – P. 1-8.
6. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 318 с.
7. Сиренко Л.А. Биологически активные вещества водорослей и качество воды / Л.А. Сиренко, В.Н. Козицкая. – Киев: Наук. думка, 1988. 256 с.
8. О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1999 г. – Ханты-Мансийск: Гос. комитет по охране окружающей среды ХМАО, 2000. 129 с.
9. О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2000 году. – Ханты-Мансийск: НПЦ «Мониторинг», 2002. 130 с.
10. Состояние окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1998 г. Обзор. – Ханты-Мансийск, 1999. 288 с.

11. Состояние окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1999 г. Обзор. — Ханты-Мансийск, 2000. 302 с.
12. Состояние окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2000 г. Обзор. — Ханты-Мансийск, 2001. 314 с.
13. Состояние окружающей природной среды и природных ресурсов в Нижневартовском районе в 2000-2002 гг. Обзор. Выпуск № 5. — Нижневартовск: Приобье, 2003. — 126 с.
14. Макунина А.А. Дифференциация природно-территориальных комплексов (ландшафтная структура) / А.А. Макунина, Н.С. Селезнева // Региональный географический прогноз. — М., 1980. — Вып. 2. — С. 59-80.
15. Макаренкова И.Ю. Современное экологическое состояние водных объектов на территории месторождений Среднего Приобья / И.Ю. Макаренкова // Современное состояние водных биоресурсов. Новосибирск, 2008. — С. 307-313.
16. Сивоконь И.С., Шор Е.Л. Анализ современного состояния природной среды в районе Ватинского нефтяного месторождения / И.С. Сивоконь, Е.Л. Шор // Биол. ресурсы и природопользование. — Нижневартовск: Нижневарт. пед. ин-т, 1997. — Вып. 1. — С. 99-113.
17. Толкачева В.В. Оценка загрязненности озера Самотлор / В.В. Толкачева // Успехи современного естествознания. — 2004. — № 10. — С. 81-82.
18. Скоробогатова О.Н. Первые сведения о водорослях озер Вильнет и Самотлор (Западная Сибирь, ХМАО-ЮГРА) / О.Н. Скоробогатова, И.Ю. Усманов // В мире научных открытий. — 2016. — № 5 (77). — С. 146-161.
19. Баринаова С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Баринаова, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова // Тель-Авив: Ин-т эволюции ун-та Хайфы, 2006. 498 с.
20. Оксийук О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксийук, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский и др. // Гидроб. журн. — 1993. — Т. 29. — Вып. 4. — С. 62-76.
21. Vinokurova G.V. Taxonomic composition and ecology of phytoplankton and phytobenthos of lake Samotlor (the western Siberia, Russia) / G.V. Vinokurova // Hydrobiol. J. — 2021. — Т. 57. — № 5. — С. 38-47.
22. Копырина Л.И. Эпифитные водоросли озер долины Туймаада Центральной Якутии / Л.И. Копырина // И-ск: Наука, 2014. 100 с.
23. Гоголева О.А. Углеводородокисляющие микроорганизмы природных экосистем / О.А. Гоголева, Н.В. Немцева // Бюл. Оренб. науч. центра УрО РАН (электронный журнал). — 2012. — № 2. — С. 1-7.
24. Фахрутдинов А.И. Нефтедеструктивная активность донных отложений озер, загрязненных углеводородами / А.И. Фахрутдинов, Т.Д. Ямпольская, А.А. Зубайдулин // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2016. — Т. 18. — № 2 (2). — С. 534-543.

25. Njobuenwu D.O. Modelling spreading rate force of petroleum spill on placid aquatic medium / D.O. Njobuenwu // J. of Science and Techn. research. - 2004. - 3 (3). - P. 48-52.
26. Eshagberi G.O. The Effects of Oil Pollution on the Environment / G.O. Eshagberi // The Nigerian Academic Forum. - 2012. - Vol. 23. - № 1. - P. 1-8.
27. Емельянова Е.К. Микроорганизмы природных биоценозов для биоремедиации почв и водных объектов Сибири, загрязненных нефтепродуктами // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Кольцово. - 2009. - 23 с.
28. Назина Т.Н. Микробиологическая характеристика нефтяных месторождений полуострова Мангышлак/ Т.Н. Назина, А.Е. Иванова, А.В. Благоев // Микробиология. - 1992. - Т. 61. - N. 2. - С. 316-322.
29. Назина Т.Н. Микроорганизмы нефтяных пластов и использование их в биотехнологии повышения нефтеотдачи: автореферат дис. докт. биол. наук: 03.00.07 / Ин-т микробиологии РАН. - Москва, 2000. - 67 с.
30. Величко И.М. Экологическая физиология зеленых нитчатых водорослей / И.М. Величко // Киев: Наук. Думка, 1982. 117 с.
31. Куклин А.П. Нитчатые водоросли озера Кенон как объект биоремедиации / А.П. Куклин // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед-й. - 2017. - № 3. - С. 85-88.
32. Ильинский В.В. Углеводородокисляющие бактериоценозы незагрязненных пресных вод и их изменения под влиянием нефтяных углеводородов (на примере юго-восточной части Можайского водохранилища) / В.В. Ильинский, О.В. Поршнева, Т.И. Комарова и др. // Микробиология. - 1998. - № 2. - С. 267-273.
33. Кузнецов А.Н. Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в водных экосистемах / А.Н. Кузнецов // Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. - Ростов-на-Дону. - 2005. - 27 с.
34. Ellis В.Е. Degradation of phenolic compounds by fresh-water algae / В.Е. Ellis // Plant Sci. Lett. - 1977. - V. 8. - P. 213-216.
35. Cerniglia С.Е. Oxidation of Naphthalene by Cyanobacteria and Microalgae / С.Е. Cerniglia, Т.Г. David, С. Van Baalen // J. of General Microbiol. - 1980. - V. 116. - P. 495-500.
36. O'Brien Patrick Y. The effects of oils and oil components on algae: a review / P.Y. O'Brien, P.S. Dixon // British Phycol. J. - 1976. - V. 11:2. - P. 115-142.
37. Walker J.D. Degradation of Petroleum by an Alga, *Prototheca zopfii* / J.D. Walker, R.R. Colwell, L. Petrakis // Applied Microbiology. - 1975. - Vol. 30. - № 1. - P. 79-81.
38. Справочник химика 21 Химия и химическая технология. [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.chem21.info/info/176786/> (дата обращения: 20.04.2022).

Сведения об авторах

Винокурова Галина Владимировна, 1964 г.р. Окончила Новосибирский государственный университет по специальности «биология» в 1989 году. Кандидат биологических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Область научных интересов: водоросли разнотипных водных объектов, фитопланктон, фитоперифитон, водоросли экстремальных мест обитания.

Кириллов Владимир Викторович, 1953 г.р. Окончил Новосибирский государственный университет по специальности «биология», квалификация «эколог» в 1978 г. Заведующий Лабораторией водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН, кандидат биологических наук. Область научных интересов: системная экология, междисциплинарные исследования состава, структуры, функционирования и эволюция водных экосистем, экологическая безопасность при многоцелевом использовании водных объектов.

Лушников Сергей Валерьевич, 1953 г.р. Окончил Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники по специальности «радиоинженер» в 1978 г. Генеральный директор НТО «Приборсервис». Область научных интересов: экология, машиностроение, медицина.

Франк Юлия Александровна, 1980 г.р. Окончила Томский государственный университет, квалификация «магистр биологии», в 2003 г. Доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии биологического института Томского государственного университета. Область научных интересов: гидроэкология, загрязнение поверхностных вод.

Участие авторов

Винокурова Г.В. — обработка полевых материалов, анализ химических и биологических показателей, написание текста статьи.

Кириллов В.В. — организация проведения полевых работ, сбор полевых материалов, анализ лимнологических процессов, написание текста статьи.

Лушников С.В. — руководство проектом, анализ процессов трансформации загрязняющих веществ в водоеме, работа с текстом статьи.

Франк Ю.А. — сбор и обработка полевых материалов, анализ химических показателей, составление картографических материалов, работа с текстом статьи.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 31.08.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on August 31, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа
Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District
№ 3 (120) 2023

В журнале публикуются исследования, посвященные вопросам развития Арктического региона планеты. Для нас важно представить комплексный взгляд на процессы, происходящие в этом регионе, поэтому принимаются рукописи, освещающие проблематику с разных точек зрения – исторической, экономической, экологической, биологической, социокультурной.

Особое внимание уделяется исследованиям в сфере мерзлотоведения, криологии Земли, экологии и геоэкологии, истории и образа жизни коренных малочисленных народов Севера, адаптации современного человека к условиям Арктики.

Журнал ориентирован на исследователей, работников органов государственного и муниципального управления, аспирантов и студентов университетов стран Арктики.

Журнал является рецензируемым, индексируется и реферируется в наукометрической базе данных Российского Индекса Научного Цитирования (РИНЦ).

Сайт журнала: <http://magazine.arctic89.ru/>

12+

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ №ФС77-81250 от 08.06.2021 г.

Учредитель и издатель: ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»

Адрес учредителя, издателя и редакции:

629008, Россия, Ямало-Ненецкий АО, г. Салехард, ул. Республики, 20, оф. 203,
тел. 8 (34922) 4-41-32, e-mail: vvp2014@bk.ru

Подписной индекс: П6404

Распространяется в печатном виде. Все статьи журнала находятся в открытом доступе (Open Access)

Фото на обложке: Александр Шеин (г. Салехард)

© Государственное автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики»

Подписано в печать 05.10.2023 г. Дата выхода в свет 10.10.2023 г.

Формат 70x100¹/₁₆. Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,625.

Гарнитура Newton. Бумага Colotech Plus. Тираж 100 экз. Заказ № 353044.

Цена свободная.

Отпечатано в типографии «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»)

г. Омск, ул. Орджоникидзе, 34,

тел. (3812) 212-111

www.золотойтираж.рф
