



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

КРАТКИЙ ОТЧЕТ ПО ИТОГАМ БОЛЬШОЙ НОРИЛЬСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ (лето-осень 2020 г.)



Декабрь 2020



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**КРАТКИЙ ОТЧЕТ
ПО ИТОГАМ БОЛЬШОЙ
НОРИЛЬСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
(лето-осень 2020 г.)**

Декабрь 2020

Введение	3
Цель работы	3
Решаемые задачи	3
Характеристика объекта исследований	3
Геологические особенности	5
Гидрографическая сеть	6
Полевой этап	7
Карта пробоотбора	8
Направление «Геофизика и геохронология»	11
Направление «Мерзлота»	14
Направление «Гидробиология»	19
Микробиология	20
Гидрофизика	24
Направление «Вода»	28
Показатели качества воды	30
Нефтепродукты	31
Фенольный индекс	34
ПАВ анионноактивные (анионные поверхностно-активные вещества)	35
Направление «Донные отложения»	37
Направление «Почва»	40
Направление «Биоразнообразие»	43
Ботанический блок исследований	43
Определение снижения видового разнообразия и среднего проективного покрытия сообществ	46
Определение снижения общего видового разнообразия на загрязненной территории в целом	47
Определение снижения разнообразия и проективного покрытия мохообразных	47
Выявление изменений разнообразия растительных сообществ	47
Зоологический блок исследований	48
Оценка биологического разнообразия энтомокомплексов	48
Биоразнообразие млекопитающих	49
Биоразнообразие орнитофауны	50

Введение

Освоение Арктической зоны Российской Федерации является одним из приоритетных направлений развития страны, а в условиях глобальных климатических изменений и техногенного воздействия на все компоненты окружающей среды вопросы экологической безопасности региона встают наиболее остро. Сибирским Отделением Российской Академии Наук летом 2020 года была проведена экспедиция с целью комплексного изучения состояния окружающей среды Норильского промышленного района, а также влияния на нее разлива нефтепродуктов на ТЭЦ-3 (город Норильск), имевшего место в мае 2020 года.

Цель работы

Целью настоящей работы является подготовка рекомендаций для формирования новых подходов к ведению хозяйственной деятельности в Арктической зоне с целью минимизации воздействия на окружающую среду и ликвидации последствий ранее осуществлявшейся деятельности.

Решаемые задачи

В рамках данной работы осуществляется решение комплекса таких задач, как:

- проведение анализа имеющихся данных;
- сбор проб и данных для оценки текущего состояния окружающей среды;
- аналитическое исследование полученного материала;
- подготовка экспертного заключения;
- разработка рекомендаций на основе полученных данных.

Норильск. Красноярский край



-53 °C

минимальная температура



+32 °C

максимальная температура

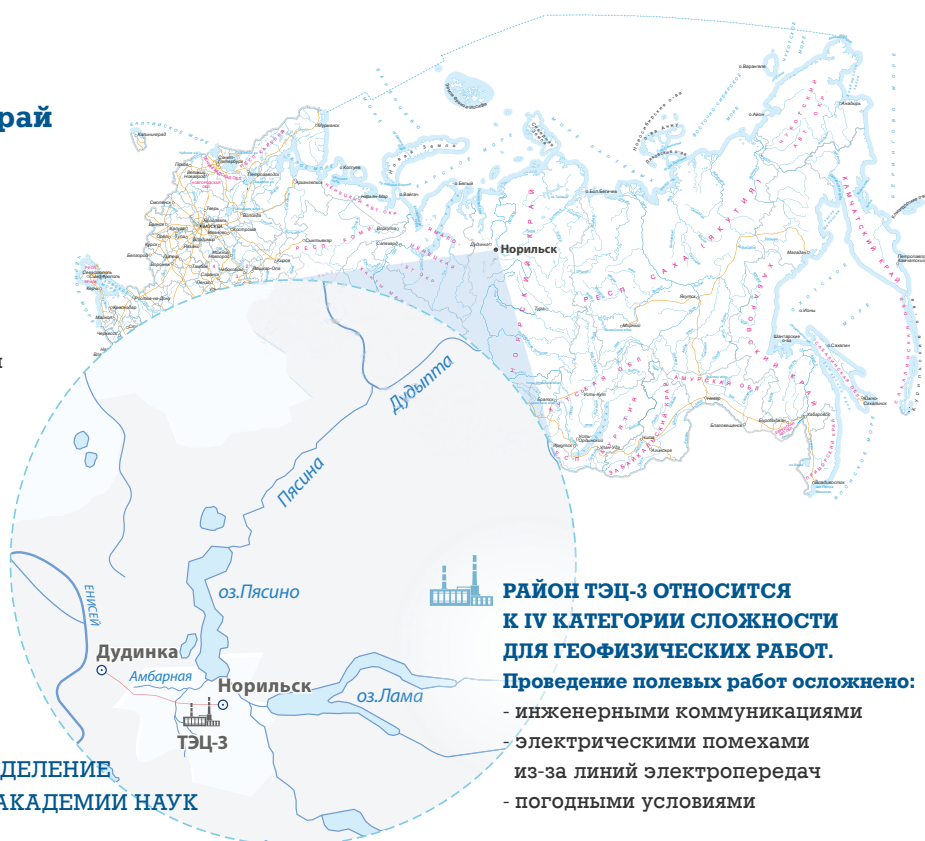


до 24 м/с

достигают порывы ветра



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК





Характеристика объекта исследований

Научные изыскания выполнены в Арктической зоне РФ, на полуострове Таймыр, располагающемся в пределах 2 климатических поясов – арктического и субарктического.

Полуостров Таймыр является единственным местом на планете, где имеется весь спектр арктических растительных зон: полярные пустыни, широкая зона тундры (включает 3 подзоны: арктические тундры, типичные и южные), лесотундра, тайга (представлена северотаежной подзоной).

В пределах каждой зоны климат, рельеф, почвы, растительность и др. имеют отличительные характеристики и свои особенности. Для области полярных пустынь и тундр характерен арктический климат, для лесотундры и тайги – субарктический. Общие климатические особенности Таймыра: суровость,

” Река оказывает тепляющее влияние на свою пойму, неся прогретые воды с юга на север, что благоприятно сказывается на вегетации пойменной растительности. Мелкие реки, такие как Далдыкан и Амбарная (имеются в виду верховья), очень извилисты и берут начало с ледников. Их берега и русло сложены каменистыми отложениями, которые не дают рекам углублять русло.

континентальность, наличие вечной мерзлоты, долгая зима и короткое лето, недостаток тепла, циклоны и антициклоны, полярная ночь с морозами и пургами, полярный день с ясными днями и массой солнечной радиации, с пасмурной погодой и затяжными морозящими дождями. Континентальность возрастает с запада на восток. Противоборство арктических и азиатских атмосферных фронтов происходит постоянно.

Ключевые участки расположены на Северо-Сибирской (Таймырской) низменности, которая занимает среднюю и южную часть полуострова Таймыр. В ее основе лежит Пясинско-Хатангский тектонический прогиб (депрессия). Рельеф слабоувалистый. Многолетняя мерзлота распространена по всему Таймыру.

Вся территория полуострова Таймыр с равнинными и горными ландшафтами имеет разветвленную водную систему, будучи покрытой крупной сетью рек и озер. Большинство рек типично горные: бурные, полноводные, с обилием порогов. Имеются крупные реки большой протяженности, одна из которых – р. Пяси́на. Река оказывает тепляющее влияние на свою пойму, неся прогретые воды с юга на север, что благоприятно сказывается на вегетации пойменной растительности. Мелкие реки, такие как Далдыкан и Амбарная (имеются в виду верховья), очень извилисты и берут начало с ледников. Их берега и русло сложены каменистыми отложениями, которые не дают рекам углублять русло.

Для равнинных ландшафтов характерны такие природные явления как многоводность, многолетняя мерзлота, подземное оледенение, маломощность почв, наличие морских и аккумулятивных отложений, большого количества полигонально-валиковых болот, байджарахов (бугров из мерзлого льдистого грунта).

На Таймыре отмечено самое северное распространение в Арктике кустарниковой и древесной растительности. В целом тундры региона по обширности, зональности, разнообразию рельефа, растительного покрова уникальны. Вот почему Н.В. Матвеева предлагает считать полуостров Таймыр модельной территорией Арктики.

В зоогеографическом отношении ландшафтные зоны полуострова также уникальны, здесь в период размножения и линьки сосредоточено многомиллионное поголовье птиц, довольно богатое по составу, часть из которого приурочено исключительно к рекам и озерам. В прибрежной полосе рек и озер скапливаются на линьку разные виды водоплавающих и околоводных птиц, а некоторые виды пернатых и мелких позвоночных животных — на откорм. Именно биотопы поймы с ее высокопродуктивной растительностью представляют весьма благоприятные условия для существования многих видов птиц. Пойменные участки водных объектов служат местобитаниями и кормовыми угодьями для животных.

Норильский промышленный район расположен севернее Полярного круга, в южной части Таймырского полуострова. Общие черты климатического режима можно охарактеризовать следующим образом: суровая продолжительная зима, устойчивый снежный покров, сравнительно короткое, прохладное лето. Переходные сезоны — осень и особенно весна — очень коротки.

Климат района субарктический, резко континентальный. 2/3 года среднемесячные температуры воздуха отрицательные; безморозными месяцами являются только июнь, июль и август. Особенность зимы — сочетание низких температур и сильного шквального ветра (мороз до -53°C и ветер до 24 м/с). Показателем теплового режима является среднегодовая температура воздуха, которая, по данным метеостанции Норильск, составляет $-9,6^{\circ}\text{C}$. В связи с преобладающей в зимнее время антициклональной погодой на территории Норильского промышленного района наблюдаются сильные морозы. Абсолютный минимум температуры воздуха составляет -53°C . Абсолютный максимум температуры воздуха составляет 32°C . Устойчивый переход температуры воздуха через 0°C , определяющий наступление весны в тундровой зоне, происходит в конце мая. Устойчивый переход температур через -5°C наступает в среднем в начале октября.

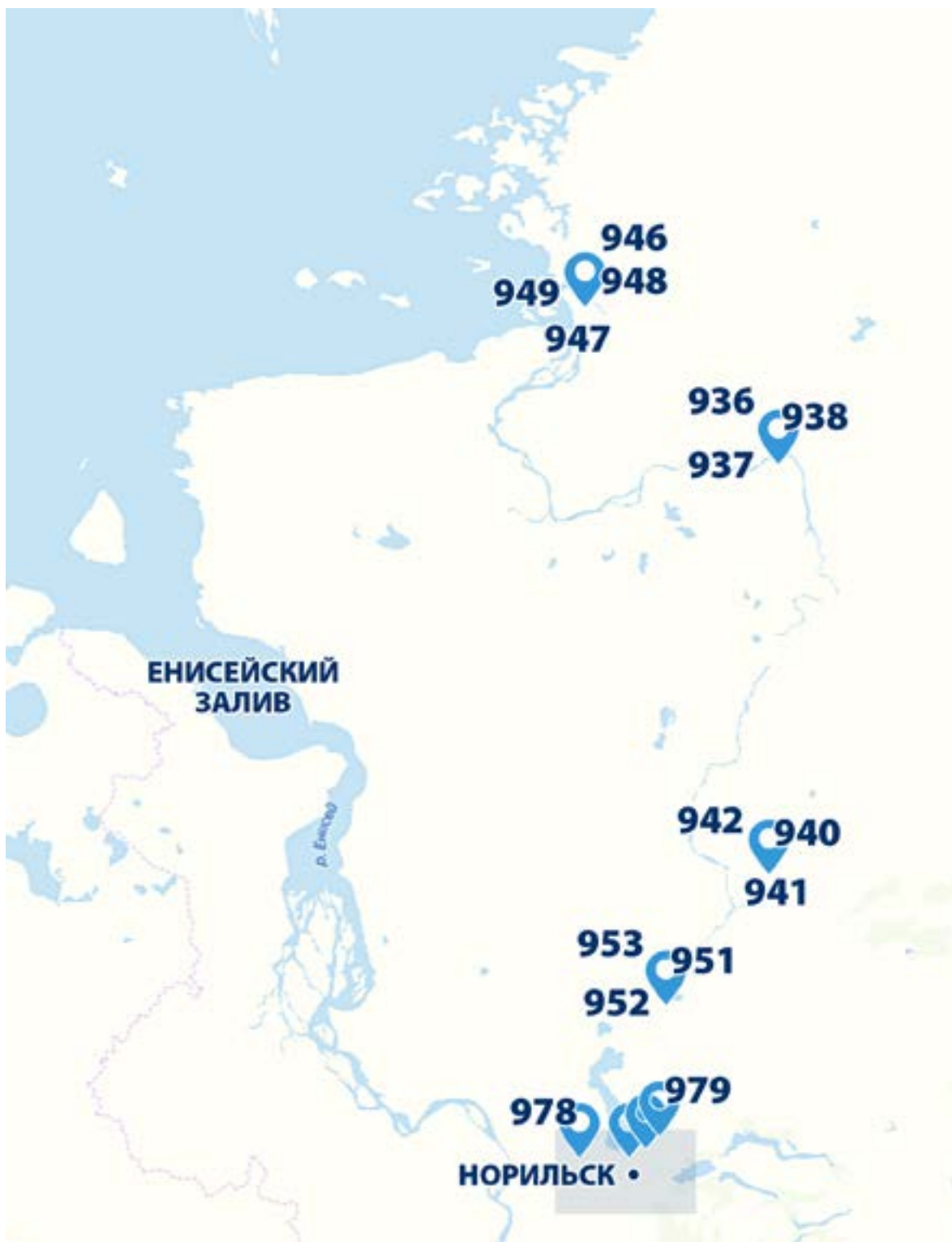
Город Норильск и его окрестности относятся к районам Крайнего Севера. **Норильск отличается крайне суровым климатом субарктического типа, являясь одним из наиболее холодных городов мира.** Зима в городе — долгая и холодная (средняя температура января составляет около -44°C). Ее характерной особенностью является частое установление морозной погоды в совокупности с сильными и очень холодными ветрами. Период устойчивых морозов длится около 280 дней в году, при этом отмечается более 130 дней с метелями. **Норильск входит в пятерку самых ветреных населенных пунктов планеты.** Климатическая зима длится с начала второй декады сентября по первую декаду мая. Снежный покров сохраняется от 9 до 11 месяцев в году. Лето — короткое (с конца июня по конец августа), прохладное ($+10,7^{\circ}\text{C}$) и пасмурное; климатическое лето наступает лишь в отдельные теплые годы. Среднегодовая температура воздуха в Норильске равна $-16,4^{\circ}\text{C}$, годовой ход абсолютных температур — 97°C . Среднегодовая относительная влажность воздуха — около 76%. Полярный день в Норильске длится с 20 мая по 24 июля, полярная ночь — с 30 ноября по 13 января.

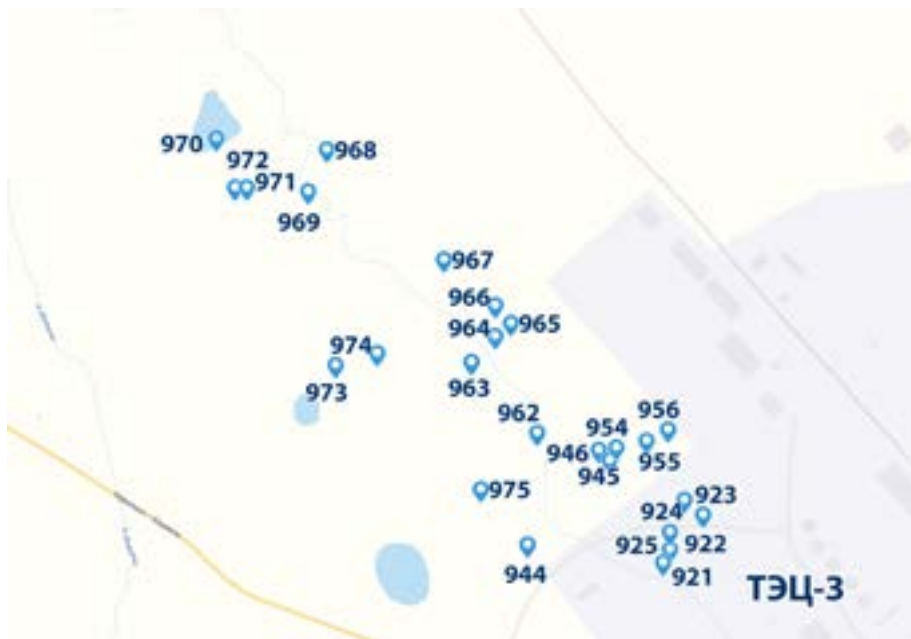
В условиях многолетней мерзлоты глубина сезонного промерзания грунта может резко меняться в зависимости от экспозиции склона, залесенности, увлажнения и типа грунта. Полное оттаивание мерзлого грунта обычно заканчивается после прохождения

весеннего половодья, но в отдельные годы может быть приурочено к моменту прохождения пика весеннего половодья. По данным ближайшей метеостанции устойчивое промерзание почвы на данной территории наступает в октябре, частичное оттаивание происходит в конце июня – начале июля.

По условиям местности **территория ТЭЦ-3** относится к IV категории сложности для геофизических работ (все разведочные линии проходят в пределах застройки). Проведение полевых работ осложнено инженерными коммуникациями и электрическими по- мехами, обусловленными близостью линий электропередач.

Карта пробоотбора





Геологические особенности

Норильский (Норильско-Талнахский) рудный район расположен в западной части плато Путорана на северо-западе Сибирской платформы. Его положение на стыке крупных тектонических структур определяет большое разнообразие геологических формаций и сложную тектоническую обстановку. Крупными тектоническими структурами являются Дудинский и Хантайско-Рыбнинский валы, сложенные осадками верхнего протерозоя и нижнего палеозоя, Норильская, Вологодчанская, Хараелахская, Иконская, Большеавамская и Боярско-Дельканская мульды, заполненные туфолавами пермско-триасового возраста. Наиболее крупными дизъюнктивными нарушениями региона являются: Енисейский меридиональный разлом на западе, Енисейско-Котуйский на севере и Таймыро-Байкальский на востоке.

Геологический разрез включает карбонатно-терригенные отложения верхнего протерозоя, карбонатно-глинистые сульфатонесущие осадки нижнего и среднего палеозоя, вулканогенные породы верхнего палеозоя, мезозоя и рыхлые образования мезо-кайнозоя. На территории развиты магматические образования протерозойского, палеозо-

йского и мезозойского возраста. Район является частью крупнейшей Сибирской трапповой провинции мира. Излияния происходили около 250 млн лет назад на границе пермского и триасового периодов, то есть на границе палеозойской и мезозойской эр. Современное субгоризонтальное залегание платобазальтов свидетельствует о небольших неотектонических трансформациях Путорана. В мезо-кайнозое в основном шло выравнивание территории и ее эрозионное расчленение.

Рудоносность Норильского района связана с более молодыми интрузиями, прорывающими угленосные терригенные отложения. Для данной территории характерны эвапориты, карбонаты разного возраста от девона до карбона и верхней перми, а также трапповые базальты и вулканогенно-осадочные толщи. Разрабатываемые интрузии (Хараелакская, Талнахская и Норильск-1) являются дифференцированными и содержат вкрапленные руды в нижней части расслоенных серий пикритовых и такситовых габбро-долеритов и массивные сульфидные руды в зонах контакта.

Современный рельеф и чехол рыхлых отложений сформировались в плейстоцене в основном под воздействием оледенения. Выводные ледники, стекавшие с локального центра оледенения на плато Путорана, активно выпахивали существовавшие долины, расширяя и углубляя их. На поверхности есть следы оледенения позднего плейстоцена, имевшего несколько ледниковых событий в течение последних 100 тыс. лет. Их проявлениями являются конечноморенные валы и гряды на выходе долин из гор. На месте растаявших ледников остаются выпаханные ледником котловины, которые, заполняясь водой, становятся мореноподпрудными озерами. Каждое озеро Норильского каскада – Пясино, Мелкое и Лама, отгорожено собственной грядой и, таким образом, связано с отдельными стадиями оледенения. Соответственно, эти озера имеют разный возраст, от более древнего до более молодого. Считается, что весь рельефообразующий комплекс ледниковых и ледниково-озерных отложений западной окраины Путорана имеет сартанский возраст, однако геохронология отложений данного региона недостаточно разработана. Тем не менее, известно, что дегляциация началась около 20 тыс. лет назад и окончилась 11,7 тыс. лет назад с наступлением современного голоценового межледникового времени. К интервалу дегляциации и появления более крупного водоема, по-видимому, относится накопление «вальковской» озерной толщи. Тот факт, что озера Мелкое и Пясино в значительной степени заполнены осадками, а моренные гряды сильно разрушены, позволяет предполагать, что их возраст значительно отличается от возраста оз. Лама, которое, вероятно, образовалось несколько позже.

Гидрографическая сеть

Все мореноподпрудные озера Норильского района являются проточными. В прошлом эти озера были значительно больше и глубже, уменьшаясь по мере эрозии порога стока. Для озера Пясино это река Пясины, для Мелкого – Талая. Современная динамика озер зависит от водности рек, собирающих атмосферные осадки с водосборного бассейна. Осенью озера сильно мелеют, в особенности Пясино. Космические снимки, сделанные в 2013 г., показывают пределы сокращения озера Пясино. Значительная часть дна озера осушилась, в результате чего сформировались три котловины – южная, средняя и северная, со-

единенные протоками. На осушенном дне реки проложили сеть русла, которые при повышении уровня озера затапливаются.

Периодическое осушение дна озера не очень благоприятно для сохранения накопленных озерных отложений, что было учтено при выборе мест бурения – в котловинах, где по состоянию на 2013 г. имелась озерная обстановка.

Гидрографическая сеть прилегающих к ТЭЦ-3 территорий представлена реками Амбарная, Далдыкан и небольшими ручьями. Все водотоки относятся к бассейну оз. Пясино, представляющего собой крупное озеро района площадью 375 км². Река Далдыкан представляет собой один из наиболее крупных притоков реки Амбарная, впадающий в нее примерно в 13,5 км от устья реки.

Питание ручьев и озер осуществляется в основном за счет вод весеннего снеготаяния и летне-осенних дождей. Замерзание рек происходит в конце сентября – начале октября, вскрытие – в первой половине июня; в это же время вскрывается и большинство озер. Период, в течение которого реки и ручьи свободны от льда, составляет 3–4 мес.

Расход воды в водотоках подвержен значительным колебаниям в течение года и связан с количеством осадков. Наибольший сток и наивысшие уровни воды во всех реках отмечаются в период весеннего паводка, который проходит в конце июня – начале июля.

Участок, на котором проводились работы в рамках экспедиции, примыкает к реке Далдыкан в месте впадения в него временного сезонного водотока, имеющего техногенное происхождение.

В целом, перечисленные особенности региона обуславливают специфические региональные аномалии, в том числе в части содержания минералов и тяжелых металлов в водах, почвах и донных отложениях, определение которого само по себе представляет отдельную научную задачу.

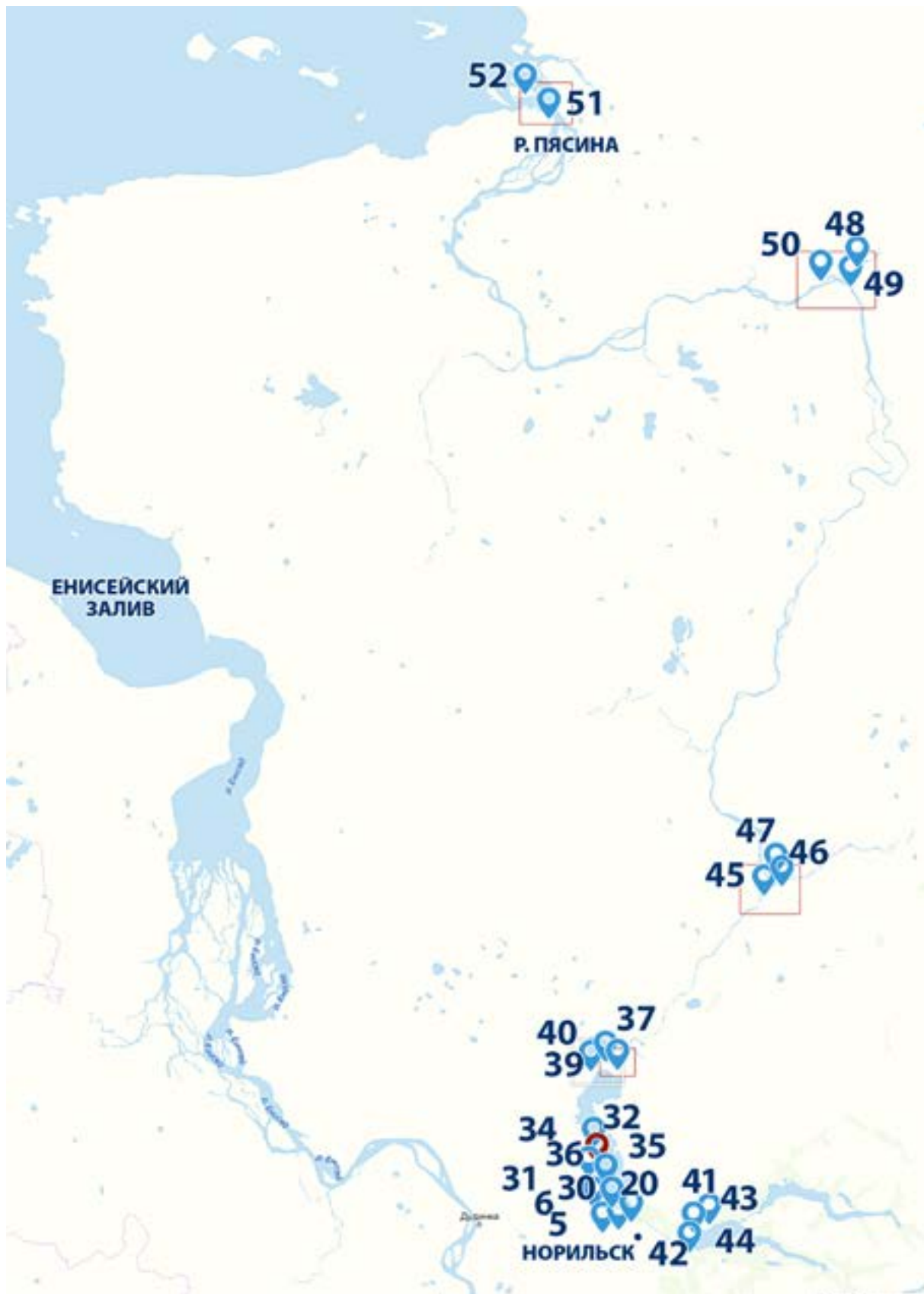
Полевой этап

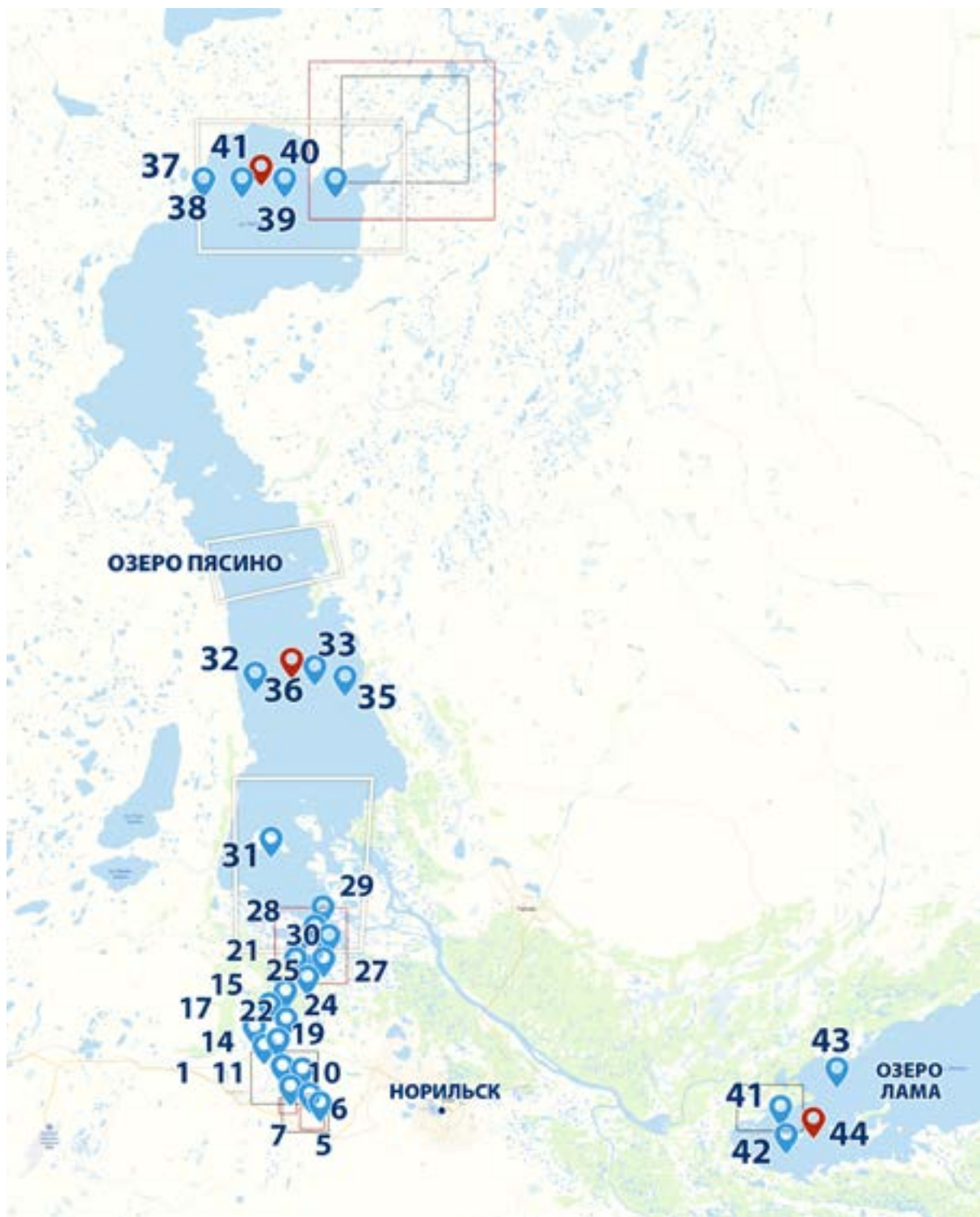
В ходе выполнения полевых работ Большой Норильской экспедиции, продлившегося с 24 июля по 31 августа 2020 года, были обследованы пойменные экосистемы Норильского промышленного района.

В частности, были изучены водотоки Норило-Пясинской системы, растительность и почвенный покров долин ручья Безымянного (он же Надеждинский), рек Далдыкан, Амбарная, Пясино, Дудыпта и Тарей, а также южного и северного берегов озера Пясино.

В ходе полевых исследований на техногенно загрязненных и условно фоновых территориях была отобрана 31 водная проба, заложено и описано 26 почвенных разрезов и 58 прикопок, отобрано 62 почвенные и 66 растительных проб для дальнейших лабораторных исследований, отловлено 210 экземпляров насекомых, составлено 114 геоботанических описаний, собран гербарий сосудистых растений в количестве 201 гербарных листов, а также гербарий мхов и лишайников в количестве 65 гербарных пакетов; в целях отлова представителей фауны было установлено 550 ловушек-давилок Геро на 10 пробных площадях.

Карта пробоотбора:





- А.** Гидрохимические и микробиологических исследования (желтые метки 1-54). Исполнители: ИНГГ, ИПНГ
- В.** Гидробиологические исследования (белые прямоугольные зоны). Исполнитель: ИБФ
- С.** Геохимические и геохронологические исследования донных осадков и почв (желтые метки 31-44 и красные метки). Исполнители: ИГМ, ИПНГ
- Д.** Исследования почв, растительного покрова и биологического разнообразия (красные прямоугольные зоны). Исполнители: НИИСХиЭА, ЦСБС, ИЛ, ИПНГ
- Е.** Геофизические и гео-криологические исследования (синие прямоугольные зоны). Исполнители: ИНГГ и ИМЗ.

Направление «Геофизика и геохронология»

Целью исследования стало определение природного геохимического фона района аварии. Логичным было бы ожидать, что данный фон повышен по отдельным химическим элементам, которыми естественно обогащен рассматриваемый рудный район. Соответственно, при проведении оценки экологических условий района следовало вычесть фоновые показатели из современных геохимических показателей, выявленных в ходе исследования.

В этом свете, были поставлены такие **задачи исследования:**

- выявить природный геохимический фон территории;
- обозначить техногенные ореолы в месте аварии и на окружающей территории.

За годы, прошедшие со времени появления первых публикаций об особенностях поведения элементов в техногенных системах, развилось целое направление исследований, объединенное понятием техногенеза – а именно, минералогия техногенеза, геохимия техногенеза и т.д.

” **Природный геохимический фон свойственен всем отложениям, накопившимся до начала хозяйственного освоения региона. Он представлен геохимическими характеристиками донных отложений озер Мелкое и Пясино, хорошо фиксируется в нижних частях колонок наземных отложений. Он повсеместно аномален по никелю и меди.**

Но только в последние годы начали появляться серьезные исследования, которые увязывают техногенный фон отработанных месторождений с глубокой геологической историей их формирования.

Содержания потенциально токсичных элементов в почвах, формирующихся на природных геохимических аномалиях рудных полей, могут во много раз превышать средние содержания в земной коре и предельно допустимые концентрации. Из

почв токсичные элементы далее попадают в растительность и продолжают свой путь по трофическим цепям.

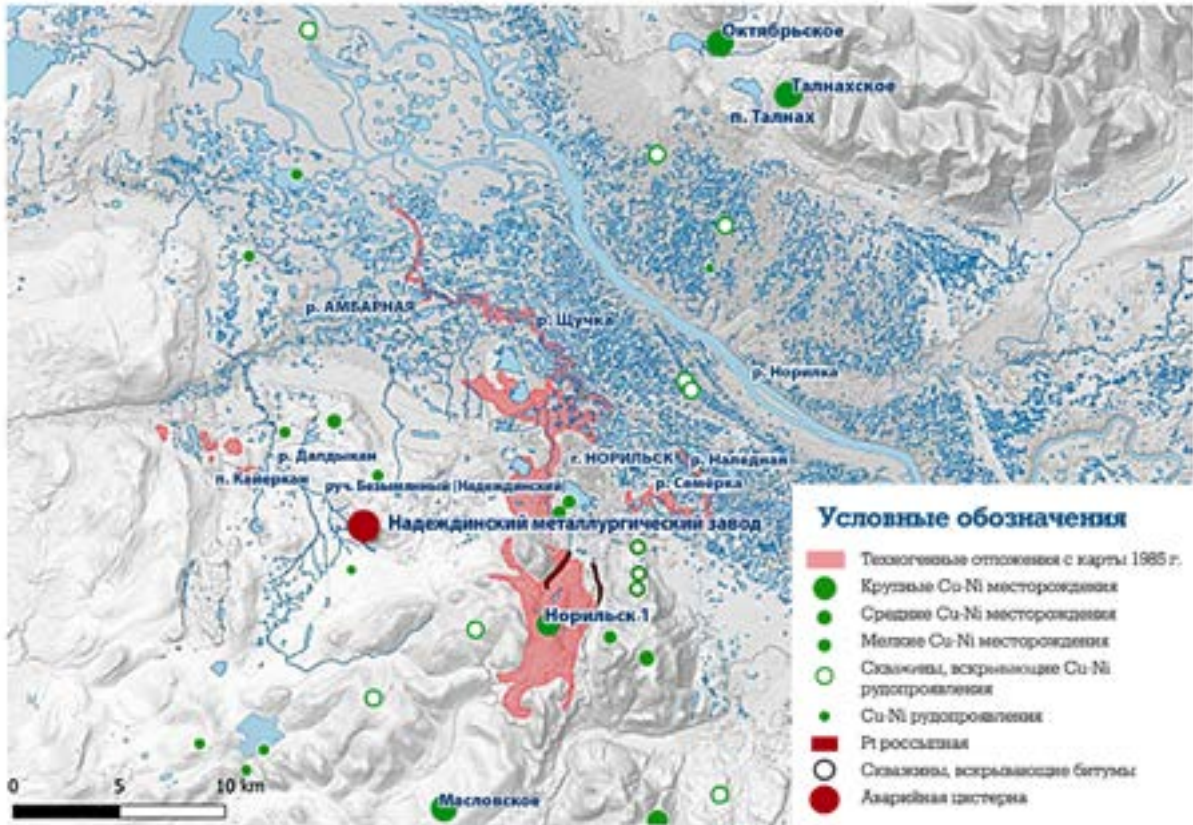
Таким образом, еще до начала изучения данного района было очевидно, что он обладает высоким природным и техногенным геохимическим фонов элементов, характерных для сульфидных руд Норильского рудного узла – Cu, Ni, Co, Cr и т.д.

Исследования, проведенные в ходе экспедиции, в целом подтвердили эти изначальные гипотезы.

Основные выводы

Норильский промышленный район является крупной геохимической аномалией. В его экосистемах накапливаются большие количества химических веществ и элементов, связанных с рудопроявлением и с переработкой руд. В первую очередь, это никель и медь.

Природный геохимический фон свойственен всем отложениям, накопившимся до начала хозяйственного освоения региона. Он представлен геохимическими характеристиками донных отложений озер Мелкое и Пясино, хорошо фиксируется в нижних частях колонок наземных отложений. Он повсеместно аномален по никелю и меди.



Расположение основных месторождений и рудопроявлений Норильского рудного узла.

При сравнении природного геохимического фона по отложениям озер Мелкое и Пясино установлена природная неравномерность распределения химических элементов. В отложениях озера Мелкое среднее содержание Ni (90 ppm) более чем в 4 раза выше, чем среднее содержание в земной коре (20 ppm), Cu (67 ppm) – более чем в 2 раза (25 ppm). Нижняя часть отложений оз. Пясино еще более обогащена ими: в среднем их содержание составляет 108 и 135 ppm, то есть, наблюдается превышение в 6 и в 10 раз соответственно.

При этом, согласно анализу результатов дистанционного зондирования и ГИС-моделирования, попадание существенного объема нефтепродуктов, разлившихся на поверхности в результате аварии, не только в Северный Ледовитый Океан, но и в центральную и северную части оз. Пясино практически исключен. В первые дни после аварии это было физически невозможно из-за «пробки» остаточного ледового покрова, сформировавшейся в районе северной котловины оз. Пясино. В последующие дни этому помешала специфика механизмов поверхностного распределения, в т.ч. – воздействие ветровой нагрузки.



Направление «Мерзлота»

Цель настоящего исследования — получение сведений о современном строении и состоянии криолитозоны для разработки рекомендаций по минимизации воздействия на окружающую среду и ликвидации последствий ранее осуществлявшейся деятельности.

В рамках данной цели, были зафиксированы такие **основные задачи**:

- определение глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород в ненарушенных условиях и в пределах объектов инфраструктуры (хозяйство аварийного дизельного топлива (ХАДТ) ТЭЦ-3, площадки складирования, участки техногенного заболачивания);
- оконтуривание техногенных таликов в пределах объектов инфраструктуры ГОКа;
- выявление путей фильтрации загрязненных вод и нефтепродуктов от объектов инфраструктуры (хранилище ГСМ) в естественные водотоки;
- определение мощности рыхлых отложений в пределах объектов инфраструктуры (хранилище ГСМ);
- выявление льдистых грунтов и льдов на территории, прилегающей к складу ГСМ.

4885 погонных метров
объём измерений ЭТ

4346 погонных метров
объём георадиолокационного зондирования

ЭТ-измерения выполнены аппаратурой Скала 48-к12, ООО «Конструкторское бюро электротри»



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

В течение летнего сезона 2020 г. геофизические работы были выполнены на площадке ХАДТ ТЭЦ-3 в районе резервуаров № 2-4 и на участках за территорией ХАДТ с западной стороны, в долине временного сезонного водотока до его впадения в р. Далдыкан, удаленного от ХАДТ на расстоянии около 600 м.

На площади исследований был применен комплекс геофизических методов для определения в плане и разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород. Была осуществлена электрораз-

ведка методом сопротивлений в модификации электротомографии (ЭТ) и георадиолокация (ГРЛ).

Общий объем измерений ЭТ составил 4885 погонных метров. Измерения выполнены аппаратурой «Скала-48K12».

На втором этапе выполнялась автоматическая двумерная и трехмерная инверсия наблюдаемого поля к с помощью программ Res2Dinv и Res3Dinv.

В результате были получены двумерные геоэлектрические модели и объемная геоэлектрическая модель полупространства, отражающая распределение удельного электрического сопротивления горных пород.

Георадиолокационное зондирование выполнялось для изучения верхней части разреза, установления мощности слоя сезонного оттаивания, выявления путей фильтрации грунтовых вод. Исследование методом ГРЛ выполнялось в два этапа: по сети профилей электротомографии и по сети профилей по контуру баков ХАДТ.

Измерения выполнялись георадаром ОКО-3 с антенными блоками центральной частоты 370 МГц. Объем георадиолокационного зондирования составил 4346 погонных м.

Обработка данных ГРЛ проводилась с помощью программы GeoScan32. По результатам исследований строились профильные амплитудно-временные разрезы (радарограммы), объемная визуализация амплитуды отраженных сигналов и карты амплитуды отраженных сигналов на разных временах (глубинах).

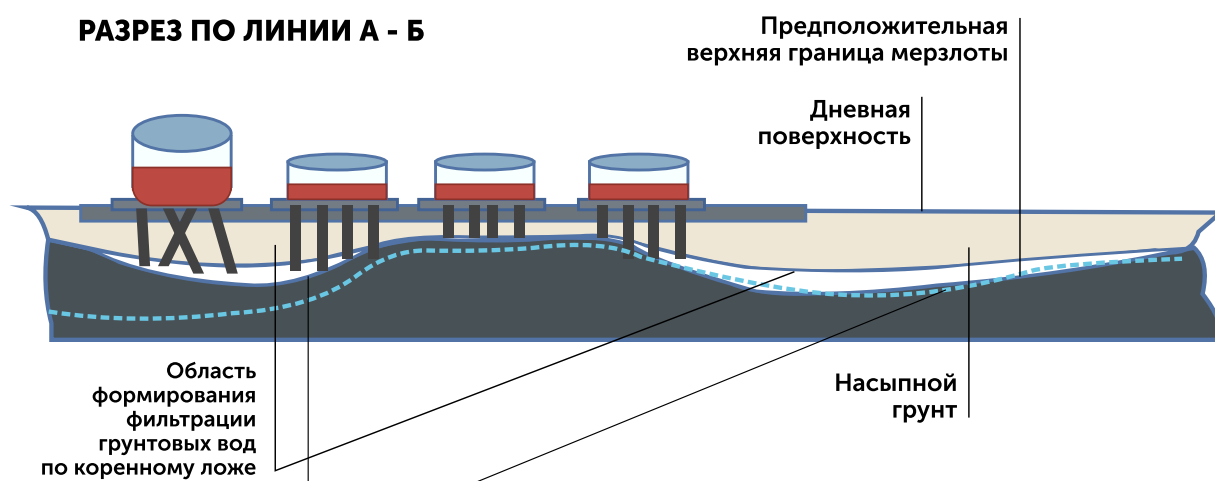


Схема формирования межмерзлотных вод и влияние их на основание фундамента на ХАДТ

На геоэлектрических разрезах УЭС, полученным по результатам 2D-инверсии, в целом выделяется два комплекса: более проводящий, талый, слой и высокоомный слой — породы в мерзлом состоянии и интрузивное основание. Изменения состояния мерзлых пород и интрузивов проявляются в понижении их УЭС.

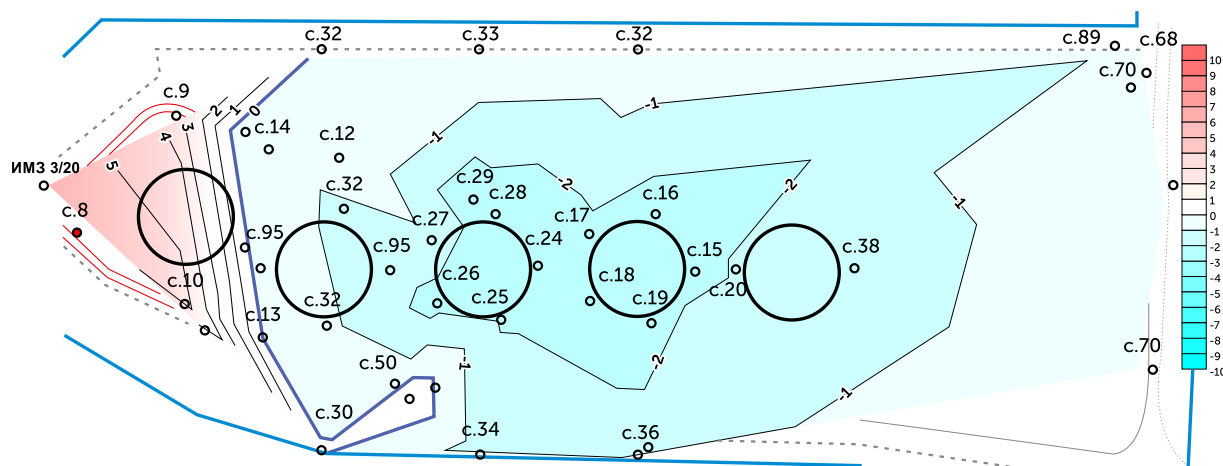
По результатам 3D-инверсии была построена объемная геоэлектрическая модель участка. В восточной части участка, расположенной ближе к ХАДТ, выделяются области низкого УЭС (менее 100 Ом·м), связанные с каналами фильтрации загрязненных вод, обводненными породами и таликами. В западной, северо-западной

части участка в области тундры УЭС пород верхней части разреза имеет повышенное значение (150-400 Ом·м) с отдельными локальными высокоомными аномалиями, вызванными льдистыми породами в буграх пучения.

По результатам 2D-инверсии съемки ЭТ были построены геоэлектрические разрезы поляризуемости. На этих разрезах представлены значения поляризуемости в единицах измерения мВ/В. Значимыми величинами будут превышающие значение 20-30 мВ/В, т.к. это уровень 2-3%. Меньшие значения можно рассматривать как соответствующие уровню естественного фона.

Георадиолокационные зондирования проведены по профилям ЭТ, а также вокруг резервуаров ГСМ № 3 и № 4 на территории ХАДТ ТЭЦ-3.

При выделении каналов фильтрации грунтовых вод выявлена линейная аномалия пониженного УЭС, которая прослеживается в районе дороги. Предполагается, что источником подземных вод является озеро (предположительно техногенной природы), расположенное в 200 м севернее бака № 5. Существует высокая вероятность того, что подземный дренаж стал причиной растепления ММП в основании бака № 5 ХАДТ, что привело к осадкам свайного фундамента.



Температурное поле на глубине 4 м.

Сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН проведено общее обследование территории и осуществлены инструментальные измерения температуры грунтов во всех имеющихся и вновь пробуренных скважинах с целью определения состояния многолетнемерзлых грунтов, направленности и причин изменения его геокриологических условий, уточнения мест расположения таликов и их границ по площади и глубине.

Проведены натурные маршрутные наблюдения на территории ХАДТ и на прилегающих участках. При этом изучались проявления экзогенных процессов, состав верхнего слоя грунтов, глубина сезонного оттаивания. Проведены наблюдения за температурным режимом грунтов в имеющихся в наличии скважинах.

Наиболее низкие температуры (около -4°C) зафиксированы возле 3 резервуара. Возле 5 резервуара наблюдаются самые высокие температуры ($-1,5^{\circ}\text{C}$). На западном углу обнаружен талик до глубины залегания коренных габбро-долеритов (6 м). Пробурены три скважины: скв. ИМЗ 1/20 на участке развития повторно-жильных льдов; скв. ИМЗ 2/20 в ложбине стока; скв. ИМЗ 3/20 на западном углу площадки ХАДТ, для заверки геофизической аномалии и подтверждения наличия гидрогенного талика. Бурение скважин выполнялось буровой установкой «УРБ-2А2» колонковым способом без промывки, с начальным диаметром 151 мм, уменьшаясь к забою на 127 и 108 мм.

Отобранные образцы исследовались в грунтовых лабораториях ООО «Норильскгеология» и Института мерзлотоведения СО РАН. Были проведены определения физических и механических свойств грунтов.

Геотермические наблюдения в скважинах проводилось в соответствии с традиционными методами, применяемыми в геокриологии. В каждой скважине замеры температуры горных пород производились гирляндой температурных датчиков. Время ее выстойки составляет не менее 2 часов. В качестве термодатчиков использовались резисторы типа DS18B20.

Площадка хранилища, несмотря на небольшие размеры (приблизительно 500 на 160 м), характеризуется очень разнообразными температурами грунтов в слое годовых теплооборотов. Самые низкие температуры, $-4,2^{\circ}\text{C}$, были зафиксированы возле 2 резервуара в скважине № 18, пройденной до глубины 9,0 м. Область с низкими температурами захватывает основание 2 и 3 резервуаров. Низкие температуры наблюдаются в скважинах № 18; 19; 15; 16; 17; 24; 25; 26; 27; 28 и 29. В данных скважинах к 3-м метрам повсеместно наблюдаются отрицательные температуры, на глубине 7 м опускающиеся ниже -3°C .

В скважинах, расположенных возле резервуара № 4, наблюдаются более высокие температуры. Температура грунтов вокруг резервуара на глубинах более 6 м достигла значений ниже -2°C . Исключение составляет Скв. 12, где на глубине до 6 м была зафиксирована зона, характеризующаяся активными фазовыми переходами, с температурами близкими к 0°C . К 13 м ее температура достигает $-1,2^{\circ}\text{C}$.

Самые высокие температуры наблюдаются в надмерзлотном талике, расположенном в западном углу площадки недалеко от резервуара № 5 (скв ИМЗ 3/20). Данный талик образовался за счет надмерзлотного стока вод, образующихся из атмосферных осадков, таяния структурных льдов в деятельном слое и техногенных утечек производственных вод. Несмотря на малую выстойку скважины с момента бурения (2 суток), она на всю глубину проходила в талых породах и завершила геофизическую аномалию.

Полевые исследования теплофизических свойств пород проводились с применением цилиндрического зонда постоянной мощности.

Для оценки состояния окружающей природной среды важно получить информацию о ее фоновом состоянии до начала интенсивного техногенного воздействия. Для принятия эффективных

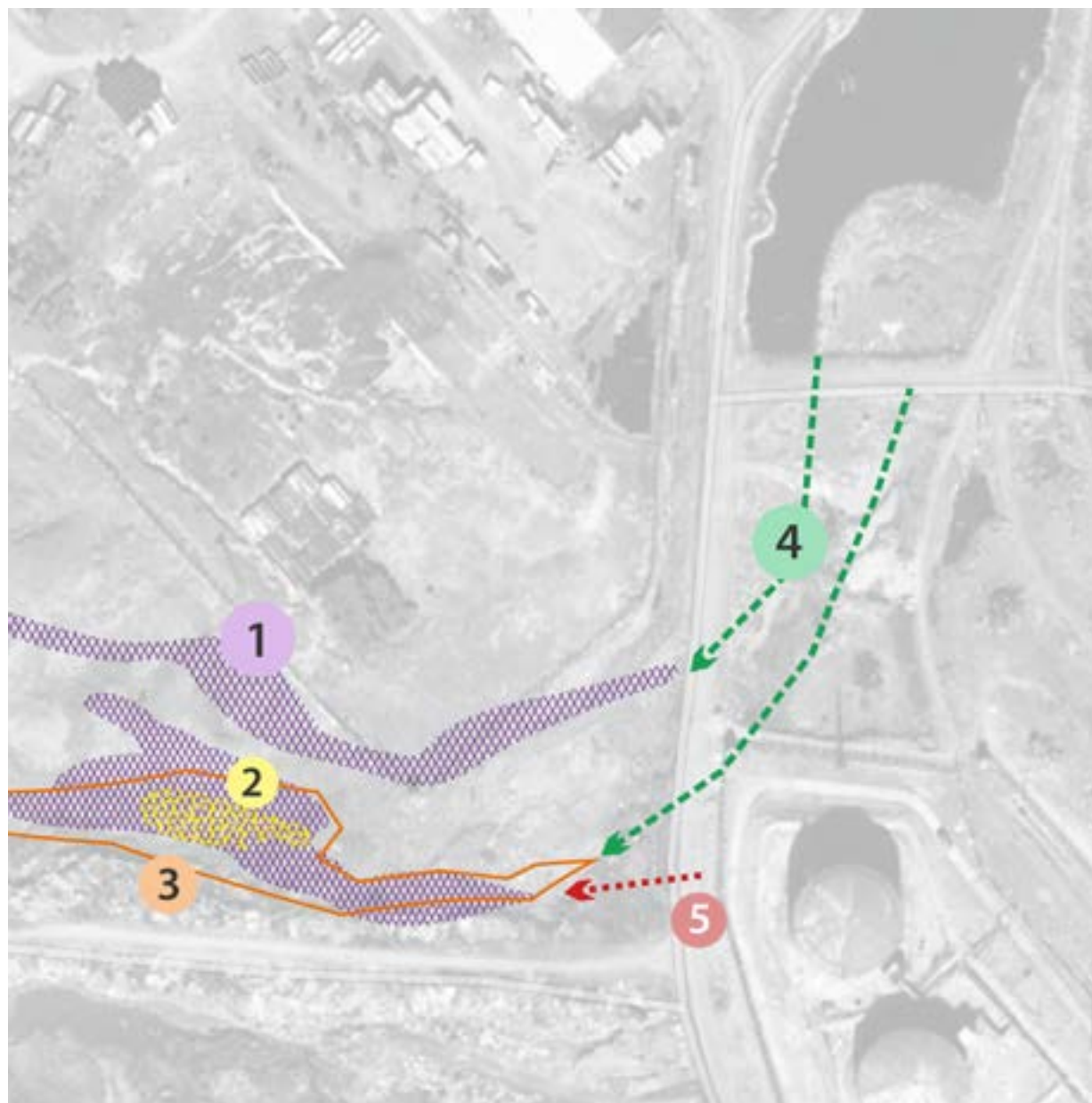


Схема каналов фильтрации, установленных по геофизическим данным и предполагаемых по геоморфологическим признакам.

1 – пути фильтрации грунтовых вод на глубине 2 м по данным ЭТ; **2** – участки скопления грунтовых вод, загрязненных нефтепродуктами по данным ЭТ; **3** – контуры аномалий поляризуемости на глубине 5 м; **4** – предполагаемые пути фильтрации ПВ из озера; **5** – пути фильтрации ПВ, загрязненных нефтепродуктами.

превентивных мер по ликвидации крайне тяжелых последствий нужны достоверные данные по особенностям и условиям пород.

В ходе теплофизических исследований было проведено 33 замера в обнажении откоса дороги и двух шурфах. Обнажение представляет собой откос дороги высотой около 6м, идущий от ХАДТ с дренажной канавой в основании. Точки измерений 2 и 3 расположены в шурфах рядом со скважинами ИМЗ 2/20 и 1/20. Теплопроводность и объемная теплоемкость пород варьирует от 1,40 до 2,70 Вт/(м·К) и от 1820 до 2170 кДж/(м³·К).

Основные выводы

В ходе исследования были получены доказательства наличия глубокого межмерзлотного талика либо полного отсутствия многолетнемерзлых пород в районе цистерны № 5. Кроме того, были выявлены изменения физического свойства грунтов и потеря их устойчивости. В частности, в скважине № 03/20 на интервале от 2,0 м до 3,1 м был вскрыт водоносный горизонт.

” Для оценки состояния окружающей природной среды важно получить информацию о ее фоновом состоянии до начала интенсивного техногенного воздействия. Для принятия эффективных превентивных мер по ликвидации крайне тяжелых последствий нужны достоверные данные по особенностям и условиям пород.

По данным глубины залегания габбро-диабазов выявляются два понижения в районе пятой и не построенной первой емкостей, по которым сформировались области фильтрации межмерзлотных вод.

Установлено, что в районе цистерны № 5 в основании материнских пород под искусственной отсыпкой прослеживается ложбина стока, по которой сформировался межмерзлотный водоносный талик.

Данные термометрических наблюдений также свидетельствуют о наличии глубокого межмерзлотного талика и движении в нем вод.

Выявлено, что в южной части ХАДТ, по границе нижней кромки искусственной отсыпки, проявляются выходы грунтовых вод на дневную поверхность.

Отсюда следует, что период формирования межмерзлотного талика начался практически сразу после введения объекта в эксплуатацию, при этом талик продолжает формироваться в настоящее время.

Предполагается, что источником подземных вод является техногенное озеро, расположенное в 200 м севернее резервуара № 5. С высокой долей вероятности можно утверждать, что подземный дренаж вызвал растепление многолетнемерзлых пород в основании резервуара № 5 ХАДТ.



Направление «Гидробиология»

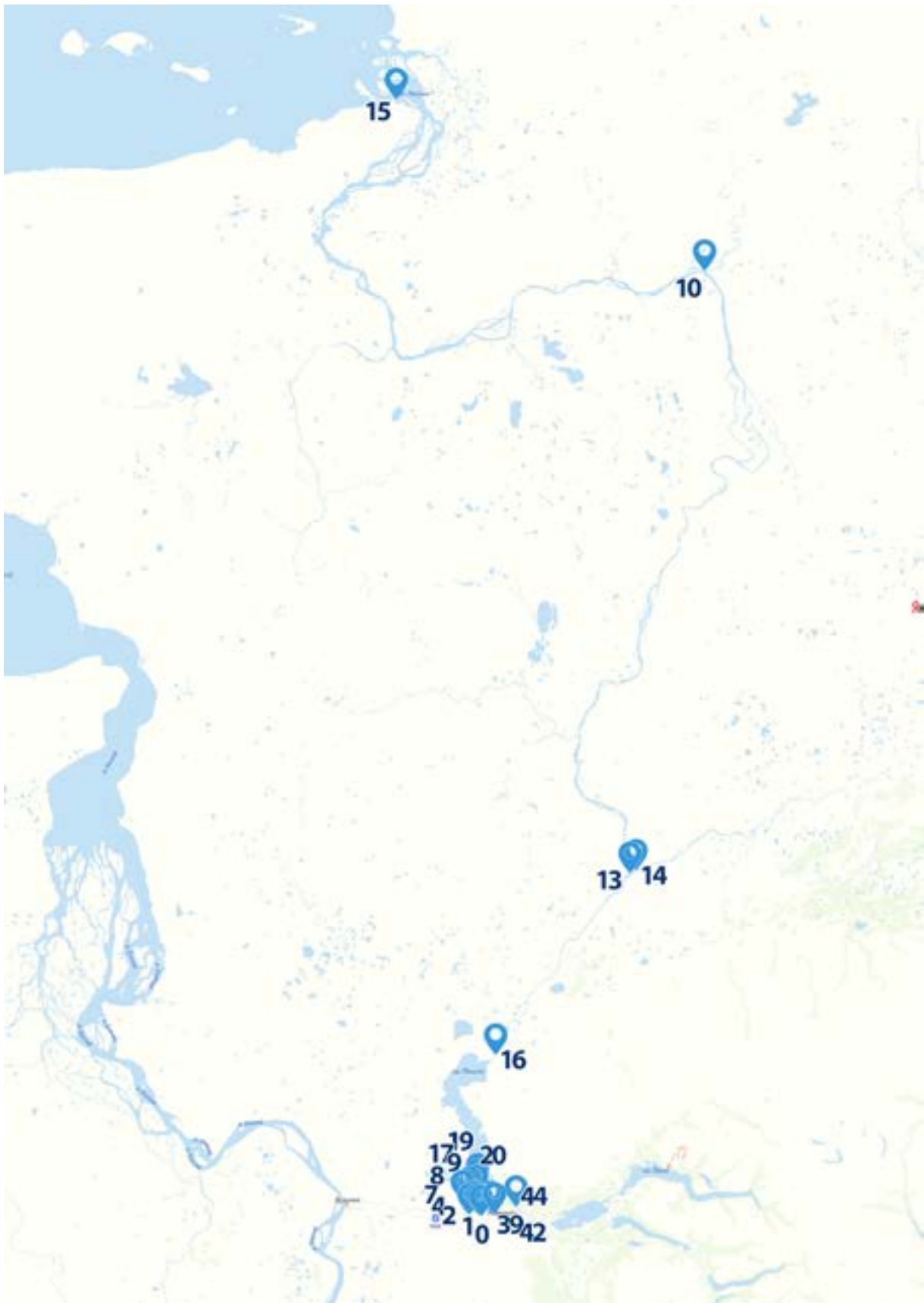
В рамках работ по направлению «Гидробиология» был проведен комплекс микробиологических и гидрофизических исследований, направленных на выявление характера ущерба, нанесенного гидросфере пострадавшего района. Работы проводились по двум блокам исследований – микробиологическому и гидрофизическому.

По совокупности показателей токсичности и масштабам вовлечения в хозяйственную деятельность нефть представляет собой один из наиболее существенных факторов экологического риска для биоты вообще, и арктической, в особенности. Микроорганизмы являются наиболее чувствительными индикаторами изменения состояния окружающей среды. Они быстро реагируют на нефтяное загрязнение, что проявляется в изменении их численности и таксономического состава. Одни из них являются чувствительными к воздействию нефти, в то время как другие могут принимать участие в разрушении углеводов. В связи с этим, при загрязнении природной среды (в том числе и водной) нефтью или нефтепродуктами в них происходит постепенная смена доминантов микробного сообщества. При этом модификация видовой структуры и характера функционирования микробных сообществ может стать причиной разрушения всей экосистемы как в водной, так и в наземной среде.

Всего в ходе данного исследования было отобрано 19 проб поверхностной воды.

Отбор проб воды осуществлялся в августе 2020 г. согласно ГОСТ 53415-2009 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа» с соблюдением асептических условий и защиты проб от пыли и попадания брызг. При отборе проб воды на микробиологический анализ были использованы чистые стерильные как внутри, так и снаружи, емкости объемом 250 мл, изготовленные из стекла, не оказывающие влияние на жизнедеятельность микроорганизмов. Пробы отбирались с погружением емкости в исследуемую воду и плотно закрывались резиновыми пробками, выдерживающими стерильные условия. Для дальнейшего хранения емкости упаковывались в плотную бумагу. Отбор проб проводился с глубины 10-30 см от поверхности воды с использованием различных плавучих средств, мостов, помостов и других приспособлений в наиболее глубоких местах русла. При транспортировании и хранении емкости с пробами были упакованы и защищены от внешнего воздействия (солнечного излучения, нагревания, загрязнения, замораживания).

Гидрофизические параметры водной среды были измерены с помощью погружного многоканального зонда контроля качества воды YSI 6600 V2-4 (США). Зонд позволяет измерять такие параметры, как температура ($\pm 0,15^\circ\text{C}$), электропроводность ($\pm 0,5\%$), pH ($\pm 0,2$ единицы), ORP (окислительно-восстановительный потенциал), растворенный кислород ($\pm 1\%$ от измеряемой величины или 0,1 мг/л), мутность ($\pm 2\%$ от измеряемой величины или $\pm 0,3$ NTU) и содержание хлорофилла «а» флуоресцентным методом (с разрешением 0,1 мг/м³). Измерения проводили на всех станциях согласно запланированным работам с одновременным отбором гидробиологических проб. Экспедиционные выходы к точкам гидрофизического, гидрохимического и гидробиологического мониторинга осуществ-



Географическая привязка пунктов отбора проб воды бассейна р. Пясины”

влялись силами сводного отряда, сформированного из сотрудников ИБФ, ИВЭП, ИПНГ, ИХХТ. Полученные данные были обработаны методом корреляционного анализа с использованием статистического языка R 4.03 (R Core Team, 2020) и библиотеки rstatix (v0.6.6; Kassambara, 2020).

Цель статистической обработки состояла в установлении связей между оценками качества воды с помощью гидрофизических параметров и биологических индексов сапробности. Кроме того, в корреляционный анализ был включен такой параметр, как расстояние от места аварии по траектории водного пути распространения загрязнения.

Пробы воды для оценки видового состава и количественных показателей бактерио- и фитопланктона в реках и прибрежных участках озера Пясино отбирались из поверхностного горизонта. На глубокководных участках озера были отобраны интегральные пробы воды с горизонтов 0 – 1,5 – 2,5 м (участок № 8) и 0 – 2,5 – 5 м (участок № 10) с помощью батометра типа Рутнера объемом 6 литров.

Пробы для определения общей численности бактериопланктона отбирались в трех повторностях: по 10 мл воды помещались в стерильные пенициллиновые флаконы с добавлением по 0,5 мл формальдегида. Всего было отобрано 39 проб бактериопланктона.

Для отбора проб фитоперифитона на дно помещалась стальная рамка габаритами 10×10 см, из которой изымалась галька. На каждом участке галечный субстрат отбирали в трех разных точках и объединяли в одну пробу. Перифитонные водоросли снимали с субстрата с помощью щетки и помещали в пластиковую банку с небольшим количеством речной/озерной воды. В стационарных условиях 10 мл пробы помещали в пенициллиновый флакон и консервировали фиксатором на основе раствора Люголя в модификации Г.В. Кузьмина. Пробы отбирались только на участках с галечным грунтом (№ 1-5, 7, 11, 12). Всего было отобрано 8 проб фитоперифитона.

Пробы воды для определения содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона отбирались 4–11 августа 2020 г. Отбор производился с берега или с судна из приповерхностного слоя воды. Водоросли концентрировались вакуумной фильтрацией на мембранные фильтры «Владипор» марки МФАС-ОС-3 с диаметром пор 0,8 мкм. Фотосинтетические пигменты фитопланктона анализировались спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте.

Микробиология

Целью исследования по данному блоку стало проведение оценки деятельности бактерий в контексте самоочищения водной среды.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- выявить содержание психрофильных сапрофитов в изучаемых водоемах;
- установить количество нефтеокисляющих микроорганизмов в данных водных объектах;
- провести анализ выявленного соотношения олиготрофов и психрофильных сапрофитов.

В природных водах территории, подвергшейся антропогенному воздействию при аварийном разливе дизельного топлива, была исследована распространенность комплекса физиологических групп микроорганизмов, участвующих в круговороте углерода, в том числе таких как психрофильные сапрофиты, развивающиеся при температуре 20-22оС; олиготрофы, растущие при минимальных количествах органического вещества; **нефтеокисляющие микроорганизмы (изучались на нефтяном агаре); нефтеокисляющие микроорганизмы, способные окислять парообразные ароматические углеводороды (пентан, гептан, декан, бензол, толуол, нафталин).**

Микробиологический состав вод исследовался в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии учебно-научно-производственного центра «Вода» (НИ ТПУ), зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России (РОСС RU.0001.511901).

Содержание психрофильных сапрофитов в поверхностных водах изменяется в широком пределе от 120 до 22000 кл/мл. Наиболее интенсивно психрофильные сапрофиты развиваются в водных объектах, находящихся вблизи ТЭЦ-3 по направлению движения поверхностного стока (ручей Надеждинский, р. Далдыкан). Для данных пунктов отбора проб также характерны высокие показатели мутности, взвешенных веществ, содержания органических веществ (ХПК, ПО), что, в свою очередь, способствует развитию данной микрофлоры. Максимальный рост колоний сапрофитов отмечен в р. Амбарной в 5 км от базового лагеря МЧС выше по течению и в устье р. Пясины. Данные обстоятельства связаны с тем, что р. Амбарная является мелким и меандрирующим водотоком с небольшой глубиной, а отбор проб проводился в летний меженьный период после спада уровня воды в период максимальной активности микроорганизмов.

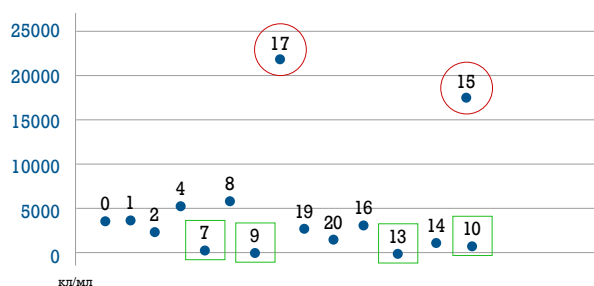
Для установления природной численности сапрофитов в водных объектах, не подверженных возможному влиянию разлива дизельного топлива, были выбраны два фоновых участка: система озера Лама – р. Норильская и р. Купец, которые, в свою очередь, также впадают в озеро Пясино. Установлено, что число сапрофитов увеличивается по направлению от оз. Лама к оз. Пясино, так как в р. Норильской их число увеличивается в 4 раза, в р. Купец также наблюдается рост числа бактерий. Следовательно, речные воды фоновых участков также подвержены антропогенному воздействию, а основными источниками лабильного органического вещества являются свалки бытовых отходов и сточные воды.

Олиготрофы – аборигенные микроорганизмы, живущие в условиях очень низких концентраций органического вещества. Данная группа микроорганизмов имеет наибольшее распространение в изучаемых природных водах: их количество изменяется от 8690 до 41800 кл/мл, причем наблюдается рост их численности по направлению движения поверхностного стока от ТЭЦ-3 (р. Надеждинский → р. Далдыкан → р. Амбарная), тогда как в водах р. Пясины их содержание уменьшается.

В фоновых пробах, отобранных в системе оз. Лама – р. Норильская, число олиготрофов уменьшается в 2 раза от 24660 до 12500 кл/мл, что, в свою очередь, связано с появлением легкоусваиваемого органического вещества, способствующего росту сапрофитов. В р. Купец

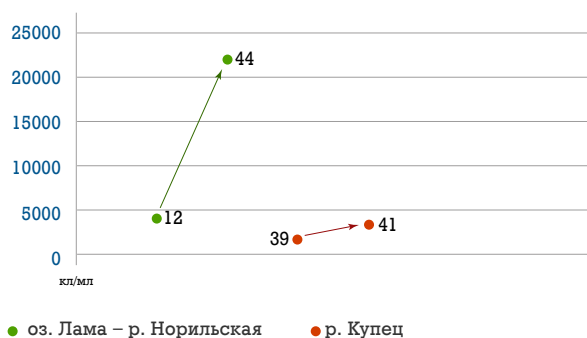
Динамика изменения численности психрофильных сапрофитов в природных водах Норильска по направлению поверхностного стока

ручей Надежденский – р. Далдыкан – р. Амбарная – р. Пяси́на



Динамика изменения численности психрофильных сапрофитов в природных водах Норильска по направлению поверхностного стока

фоновые участки оз. Лама – р. Норильская, р. Купец



наблюдается рост числа олиготрофов.

Нефтеокисляющие бактерии обнаружены во всех изучаемых пробах поверхностных вод. Данная группа микроорганизмов участвует в процессах деструкции сложных органических веществ и использует для своего существования нефть и ее дериваты. По результатам проведенных микробиологических анализов установлено, что содержание нефтеокисляющих бактерий изменяется от 120 до 36080 кл/мл, причем максимальные значения характерны для вод ручья Надеженского и р. Далдыкан. Далее по стоку в р. Амбарной наблюдается снижение количества бактерий данной группы, тогда как в водах р. Пяси́на их присутствие вновь возрастает.

Условно принято, что в чистых водах содержание нефтеокисляющих микроорганизмов не должно превышать 500 кл/мл. Как было установлено, все исследуемые пробы воды подвержены нефтяному загрязнению. К наиболее чистым водам относятся пробы № 7, 9 (р. Амбарная выше и ниже впадения р. Далдыкан), № 10 (р. Пяси́на выше впадения р. Тареи), а к наиболее загрязненным – пробы № 8 (устье р. Далдыкан), № 16 (р. Пяси́на, в 5 км от истока), № 13 (р. Пяси́на, выше впадения р. Дудыпта).

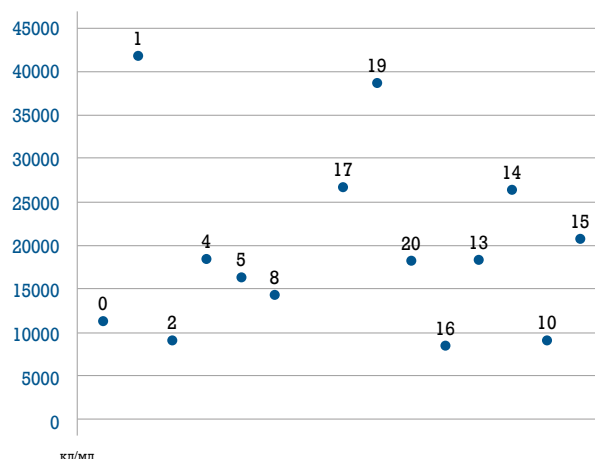
В фоновых пробах, отобранных в системе оз. Лама – р. Норильская, число нефтеокисляющих бактерий увеличено в 28 раз, что непосредственно связано с повышенной антропогенной нагрузкой на р. Норильская, так как она является судоходной, а место отбора пробы воды находилось на территории лодочной станции.

Для оценки экологического состояния вод рек в качестве критерия использовались количественные характеристики изученных групп микроорганизмов, существующие в общей и геологической микробиологии (прежде всего, критерии количественного содержания и соотношения психрофильных сапрофитов и олиготрофов). Изучение динамики сапрофитных микроорганизмов вошло в схему разработки предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воде и почве. Данный микробиологический анализ позволяет оценивать влияние вредных веществ на процессы самоочищения и санитарный режим водоемов. Число сапрофитных микроорганизмов коррелирует с количеством легкоусвояемых веществ в природной воде.

Сопоставление количества одновременно выявленных сапрофитов (гетеротрофов) и олиготрофов показывает степень минерализованности органического вещества. Отношение количества олиготрофов к числу колоний сапрофитов дает количественный

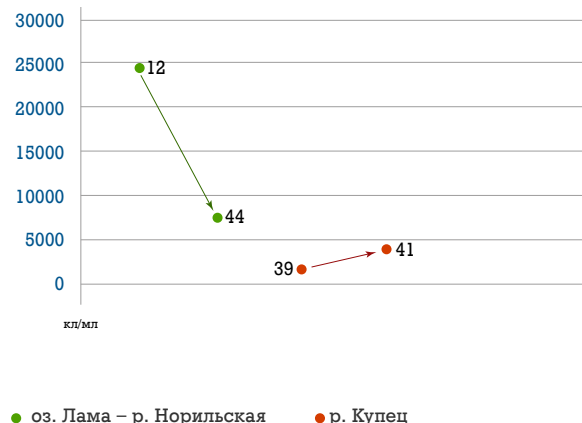
Динамика изменения численности олиготрофов в природных водах Норильска по направлению поверхностного стока

ручей Надежденский – р. Далдыкан – р. Амбарная – р. Пяси́на



Динамика изменения численности олиготрофов в природных водах Норильска по направлению поверхностного стока

фоновые участки оз. Лама – р. Норильская, р. Купец



показатель – индекс олиготрофности. По величине индекса олиготрофности судят о степени обогащенности мест обитания азотсодержащим органическим веществом и интенсивности процессов минерализации этого органического вещества. Величина индекса олиготрофности может меняться в широких пределах: от 0 до + бесконечности. Значение индекса олиготрофности, меньше или равное единице, говорит о загрязнении источника легкодоступным органическим веществом. Значение индекса олиготрофности больше единицы говорит о сбалансированности бактериальных процессов минерализации органического вещества (происходит самоочищение объекта). Если индекс олиготрофности меньше единицы, то водная среда загрязнена органическим веществом – в биоценозе процессы аккумуляции органического вещества преобладают над его деструкцией, и система обладает низким потенциалом к самоочищению.

Для всех исследуемых вод был рассчитан индекс олиготрофности. Количество олиготрофов в водах большинства исследуемых проб превышает количество психрофильных сапрофитов, следовательно, для всех исследуемых вод индекс олиготрофности превышает единицу и имеет довольно высокое значение, что свидетельствует о высокой способности системы противостоять различным загрязнениям. Иными словами, в обследованных водах преобладают процессы деструкции лабильного органического вещества, источники которого связаны с жизнедеятельностью человека. Однако стоит отметить, что среди рассчитанных индексов олиготрофности наиболее низкие (но все же больше) единицы характерны для проб, отобранных в устье р. Далдыкан, на реке Амбарной в 5 км выше от лагеря МЧС и в устье р. Пяси́на.

Основные выводы

Исходя из выявленного соотношения олиготрофов и психрофильных сапрофитов, позволяющего по индексу олиготрофности оценить деятельность бактерий в самоочищении водной среды, можно констатировать в целом высокую способность обследованной микробиологической системы к самоочищению от органического загрязнения.

Также установлено, что микрофлора исследуемых вод является адаптированной к нефтепродуктам и способна участвовать в их

деструкции.

В то же время, в водах р. Амбарной из-за высоких содержаний нефтепродуктов (более 0,1 мг/л) наблюдается снижение не только численности нефтеокисляющих бактерий, но и их способности к окислению летучих соединений нефти, бензола, толуола и нафталина.

Гидрофизика

Цель настоящего исследования — установить влияние разлива на гидрофизические характеристики воды в пострадавших водоемах.

Для ее достижения было необходимо решить такие задачи:

- провести замеры регламентируемых параметров (температуры, показателей рН и содержания кислорода);
- проанализировать корреляционные связи между ключевыми измеренными параметрами;
- провести анализ взаимосвязи между гидрофизическими параметрами качества воды и ее биологической оценкой в виде численности бактерий и индексов сапробности;
- осуществить оценку качества воды по концентрации хлорофилла.

В ходе исследований был осуществлен замер и анализ температуры, показателей рН и содержания кислорода исследуемых водных объектов и их анализ относительно референсных показателей. Согласно принятым нормам, в случае со сбросом промышленных вод, температура водоемов рыбохозяйственного назначения не должна повышаться более чем на 5°С относительно фоновых значений. Водородный показатель должен находиться в пределах 6.5 –

Зависимость между качеством воды и количеством в ней аэробных психрофильных сапрофитов

Количество колоний, выросших при посеве на питательный агар 1 мл воды	Оценка водоема
0 – 10	Очень чистые
10 – 100	Чистые
100 – 1000	Умеренно-загрязненные
1000 – 10000	Загрязненные
10000 – 100000	Грязные
> 100000	Очень грязные

8.5. Значение показателя кислорода не должно опускаться ниже 6 мг/л в летний период.

Практически все измеренные параметры укладываются в допустимые нормы, за исключением температуры ручья Безымянный. Однако данный ручей не имеет рыбохозяйственного значения.

Также были проанализированы взаимосвязи между гидрофизическими параметрами качества воды и ее биологической оценкой в виде численности бактерий и индексов сапробности (РД 52.24.309 – 2016) для разных типов биоты: фитопланктона, фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса. Как известно, чем выше индекс сапробности S , тем ниже качество воды. По своей сути, измеренные показатели относятся к категории общих и суммарных показателей качества воды. Эти показатели могут как отражать некоторые экологические процессы, так и свидетельствовать о наличии определенных типов веществ в воде. Так, изменения pH чаще всего определяются динамикой фотосинтетической активности фитопланктона, но могут быть также связаны с поступлением в среду гуминовых веществ или солей тяжелых металлов. В свою очередь, ORP связан со всей совокупностью окислительно-восстановительных реакций в среде. Он может отражать такие процессы, как нитрификация/денитрификация, выделение сероводорода, метана, высвобождение/аккумуляция фосфора и т.д. Соответственно, суммарные показатели не позволяют получить конкретные сведения о веществах и реакциях в среде, однако, в сочетании с физико-химическими данными, дают более полную картину процессов, протекающих в водных экосистемах.

Согласованность оценок качества воды по гидрофизическим и биологическим показателям наблюдалась между температурой, электропроводностью и ORP, с одной стороны, и с численностью бактериопланктона и индексом сапробности зоопланктона, с другой стороны. По этим показателям качество воды было низким в ручье Безымянный, р. Далдыкан (ниже впадения ручья Безымянный) и р. Амбарная (ниже впадения р. Далдыкан), т.е. в водотоках, близких к месту аварии (ТЭЦ-3). В северной части озера Пясино и в реке Пясины воды были чистыми.

Показатели развития бактериопланктона варьировали в пределах одного порядка – от 0,361 млн кл./мл до 2,744 млн кл./мл, что свидетельствует о крайне низкой степени олиготрофности. Для сравнения, в нижнем течении р. Енисей, которая также считается олиготрофной экосистемой, численность бактериопланктона достигает значений более 15 млн кл./мл. Таким образом, в оз. Пясино и прилегающих реках явных вспышек численности бактерий, зафиксированных в некоторых водоемах после нефтяных разливов, не отмечено. Вероятно, после сбора разлитой нефти в реках бактериопланктон, формирующийся в верховьях, уже не имел дополнительного органического субстрата для развития. Минимальное значение численности и биомассы бактериопланктона обнаружено в р. Пясины.

Перифитон озера Пясино был относительно богат своими видами. Биомасса составила 0,9 г/м²; по числу видов и биомассе преобладали диатомовые водоросли. Такие структурно-количественные показатели перифитона в целом характерны для озер данного района. Так, в оз. Собачье, которое, как и оз. Пясино, входит в Норило-Пясинскую водную систему и вследствие своего месторасположения практически не подвержено антропогенному воздействию, по результатам иссле-

Внешний вид перифитона р. Амбарная выше (слева) и ниже (справа) по течению от устья реки Далдыкан.



дования 2014 г., средняя биомасса перифитона также составила 0,9 г/м². Основной вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли.

Значение индекса сапробности, рассчитанного по фитопланктону, колебалось от 1,7 до 2,1 балла, а по перифитону составило 2,3 балла, что соответствует 2 классу качества воды («Слабо загрязненная»). Тем не менее, следует отметить уменьшение величины индекса в нижней части озера, что может свидетельствовать о снижении органического загрязнения.

Таким образом, согласно нашим данным, непосредственно в местах ниже аварийного разлива нефтепродуктов (в рр. Далдыкан и Амбарная) наблюдались классические признаки влияния нефтяного загрязнения на фитопланктон и фитоперифитон, а именно – доминирование жгутиковых водорослей (эвгленовых и криптофитовых), гибель фитоперифитона в местах тяжелого загрязнения нефтепродуктами и массовое развитие зеленых нитчатых водорослей ниже зоны загрязнения. Напротив, в р. Норильская, оз. Пясино и р. Пясино доминировали диатомовые водоросли, как и за много лет до аварийного разлива, что указывает на отсутствие негативного воздействия аварийного разлива нефтепродуктов на экосистему последних.

Водоросли планктона (фитопланктон) – первичное звено трофической цепи водных экосистем, продуцент органических веществ, участник процессов биологического самоочищения, индикатор качества воды. Содержание основного фотосинтетического пигмента зеленых растений – хлорофилла а (Хл а) в единице объема воды считается универсальным эколого-физиологическим показателем, который позволяет получить сведения о пространственном распределении фитопланктона в водоеме, санитарно-биологических характеристиках качества воды и трофическом статусе водоемов.

Оценка качества воды по концентрации хлорофилла а как одного из эколого-санитарных (трофо-сапробиологических) показателей качества показала, что вода на большинстве исследованных станций соответствовала классу 1 («Предельно чистая»). Лишь вода из руч. Безымянный и из р. Далдыкан ниже его впадения характеризовалась классом 2 («Чистая»).

Анализ пигментных показателей исследованных водных объек-

тов показал значительные отклонения от нормального пигментного состава пресноводного фитопланктона в ручье Безымянный и на участке р. Далдыкан ниже впадения ручья. В пигментном фонде сестона этих участков рек многократно преобладают желтые пигменты (каротиноиды), а среди зеленых (хлорофиллов) преобладают дополнительные хлорофиллы b и c, играющие в составе водорослей второстепенную роль. Такие особенности могут свидетельствовать о наличии в составе водной взвеси (сестоне) этих рек значительного количества почвенного и растительного детрита, поступающего с водосборной площади ручья Безымянный. Пигментный состав фитопланктона реки Амбарная в целом близок к нормальному (при незначительных отклонениях). Количество и соотношение пигментов фитопланктона озера Пясино и реки Пясины были характерны для нормально функционирующего пресноводного планктона олиготрофных вод. Такой же уровень и состав пигментов отмечен в фоновой реке Норильская.

В августе 2020 г. в пробах зоопланктона из ручья Безымянного, рек Далдыкан, Амбарная и Норильская число видов/групп зоопланктеров было невелико: 3-22, медиана – 8 видов, а их численность и биомасса были малы: 160- 20360 экз./м³ и 0.5-58.8 мг/м³, медианы – 458 экз./м³ и 4.54 мг/м³. В ряде проб истинно планктические виды, обитающие преимущественно в пелагиали водоемов, отсутствовали или же их доля в общей численности зоопланктона была невелика (17-31%). Доминировали фитофильные коловратки р. *Euchlanis* и придонные бделлоиды (коловратки отр. *Bdelloida*), придонные циклопы и их науплиальные и копеподитные стадии.

Средневзвешенный по численности индикаторных видов зоопланктона индекс сапробности Пантле и Букка, основанный на индивидуальной сапробности видов, отнес две нижние станции, ст.10 и 11 (исток из озера), к I классу качества вод – «Условно чистые»; все остальные станции озера и обследованных рек – ко II классу – «Слабо загрязненные». Однако внутри этого класса величина индекса убывала, а качество воды улучшалось по мере смещения от участков рек, подвергнутых разливу топлива, к озерным станциям. Ранжированный ряд станций в порядке убывания индекса таков: ст.1 (руч. Безымянный, подверженный разливу топлива), ст. 5, 3, 6 (подверженные разливу топлива), 4 (фоновая р. Амбарная), 2 (фоновая р. Далдыкан), 13 и 7 (устье Амбарной ниже боновых заграждений, и южная часть озера Пясино), 12 (р. Норильская), 8 и 9 (оз. Пясино, центр и северная часть). По сапробной классификации Сладечека ст. 10, 11 и 12 являются олигосапробными, остальные – бета-мезосапробными. **Таким образом, уменьшение индекса сапробности очевидно отражает уменьшение органической нагрузки на воды от мест поступления топлива до истока р. Пясины в результате физико-химических и биологических процессов самоочищения вод.**

Основные выводы

Большинство термальных параметров обследованных водоемов соответствует нормам.

В оз. Пясино и прилегающих реках не отмечено всплеск численности бактерий, зафиксированных в некоторых водоемах после нефтяных разливов, при этом минимальное значение численности и биомассы бактериопланктона обнаружено в р. Пясины.

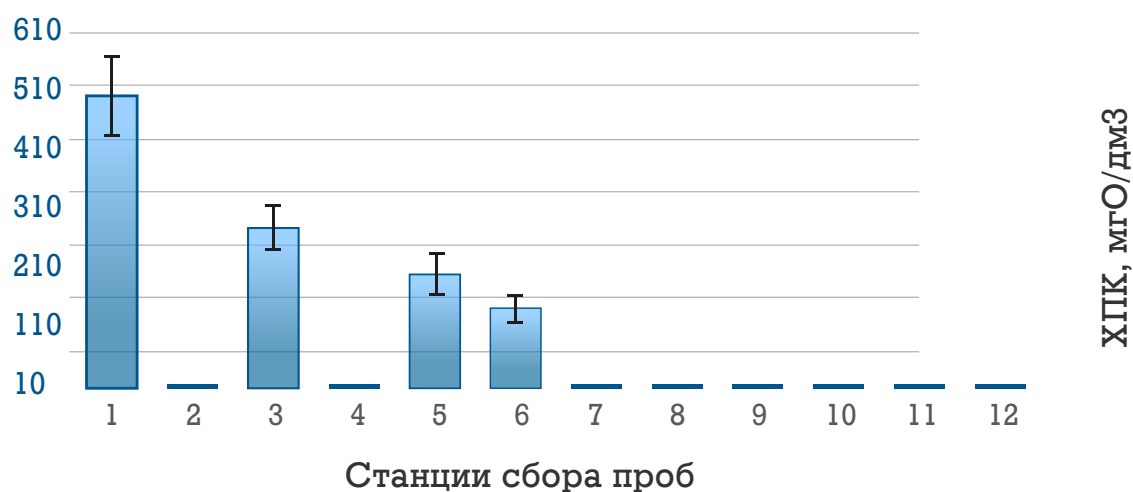
Непосредственно в местах ниже аварийного разлива нефтепро-

дуктов (в рр. Далдыкан и Амбарная) были отмечены признаки влияния нефтяного загрязнения на фитопланктон и фитоперифитон. Напротив, в оз. Пясино и р. Пясины выявлено доминирование видов, характерных для периода до разлива, что указывает на отсутствие негативного воздействия нефтепродуктов на экосистему этих водоемов.

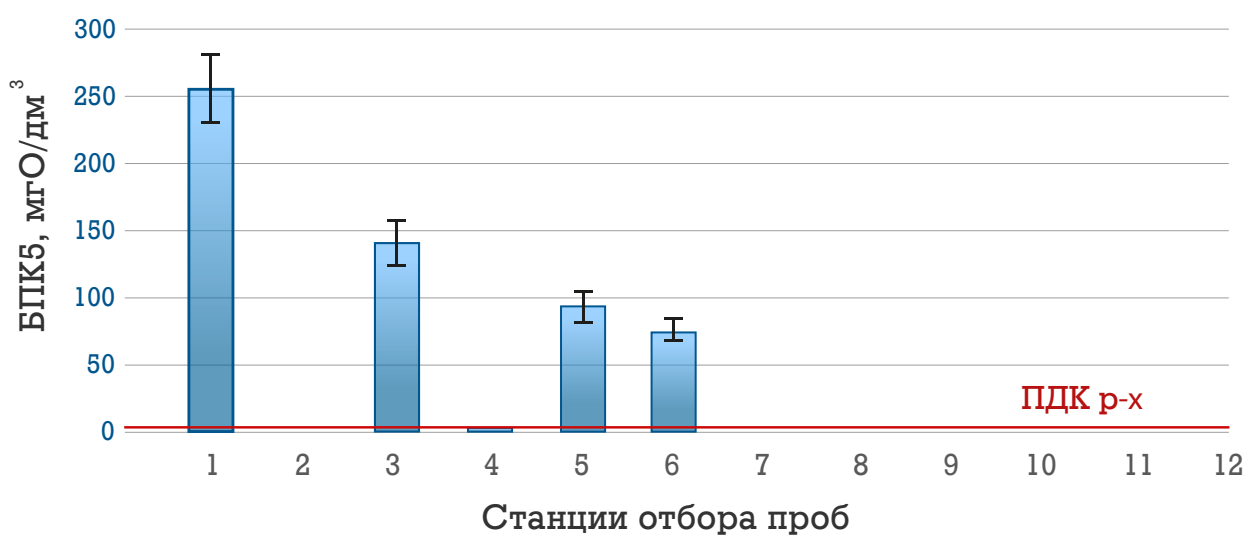
Помимо этого, по итогам исследований отмечено уменьшение органической нагрузки на воды от мест поступления топлива до истока р. Пясины, имевшее место в результате физико-химических и биологических процессов самоочищения вод.



ХПК воды на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.) по данным лабораторных исследований



БПК5 воды на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.) по данным лабораторных исследований



Направление «Вода»

Общей целью исследований по направлению «Вода» стало выявление воздействия аварийного разлива на ТЭЦ-3 на основные качественные характеристики воды в районе события.

В рамках выбранной цели были поставлены следующие **задачи**:

- проанализировать ключевые показатели качества воды;
- принять меры к распознаванию источника возможного загрязнения растений, почвы и водных объектов на территории;
- рассчитать фенольный индекс для исследуемых водных объектов;
- проанализировать содержание АПАВ.

На изученных водных объектах с 04.08.2020 по 11.08.2020 г. Институтом водных и экологических проблем СО РАН (ИВЭП СО РАН, г. Барнаул) было обследовано 12 участков (станций обора проб).

На изученных участках было отобрано 12 проб воды по 6,5 л (2 литра в стеклянную тару и 4,5 л в пластиковую) для химического анализа. Гидрохимический анализ проб был проведен в аккредитованной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в городе Норильске (РОСС RU.0001510575).

Пробы воды для определения содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона (по 1,5 литра в пластиковую тару), отбирались 4–11 августа 2020 г. Отбор производился с берега или с судна из приповерхностного слоя воды. Водоросли концентрировались вакуумной фильтрацией на мембранные фильтры «Владипор» марки МФАС-ОС-3 с диаметром пор 0,8 мкм. Фотосинтетические пигменты фитопланктона анализировались спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте.

Непосредственно на месте отбора проб были определены показатели качества вод с помощью многопараметрического зонда YSI 6600 V2-4 (США).

Более детальное исследование углеводов (УВ) было проведено в Институте химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН, г. Томск).

Для количественного определения УВ в воде использовался ИК-спектрометрический метод. Экстракцию осуществляли четыреххлористым углеродом. Определение проводили по двум параллельным измерениям на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 (разрешение 4 см⁻¹, число сканов пробы – 64) в диапазоне 3100-2700 см⁻¹, в кюветах из NaCl с толщиной поглощающего слоя 10 мм в соответствии с ПНД Ф 14.1:2.5-95.

Показатели качества воды

В ходе исследования были проанализированы такие параметры качества воды:

- Минерализация
- Электропроводность
- Жесткость

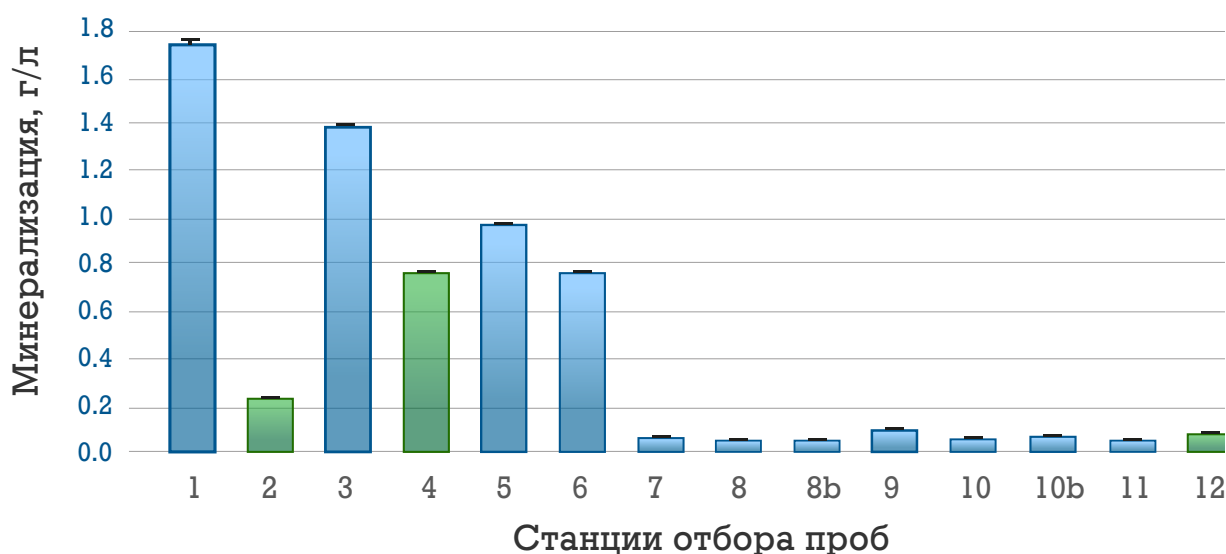


Схема расположения станций отбора проб: **1** – руч. Безымянный (Надеждинский) в районе ТЭЦ-3, **2** – р. Далдыкан (выше устья руч. Безымянного, фон), **3** – р. Далдыкан (в районе устья), **4** – р. Амбарная (выше устья р. Далдыкан, фон), **5** – р. Амбарная (ниже устья р. Далдыкан), **6** – р. Амбарная (в районе устья), **7** – оз. Пясино (в районе мыса Тонкий, у берега), **8** – оз. Пясино (в районе мыса Тонкий, в центре), **9** – оз. Пясино (в районе мыса Голый, у берега), **10** – оз. Пясино (в районе мыса Голый, в центре), **11** – р. Пясино (в районе истока), **12** – р. Норильская (фон)

- Температура
- Взвешенные вещества
- Мутность
- Цветность
- Водородный показатель (рН)
- Щелочность
- Окислительно-восстановительный потенциал (Eh)
- Растворенный кислород
- Перманганатная окисляемость (ПО)
- ХПК (бихроматная окисляемость)
- Биологическое потребление кислорода (БПК)

Минерализация воды на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.)

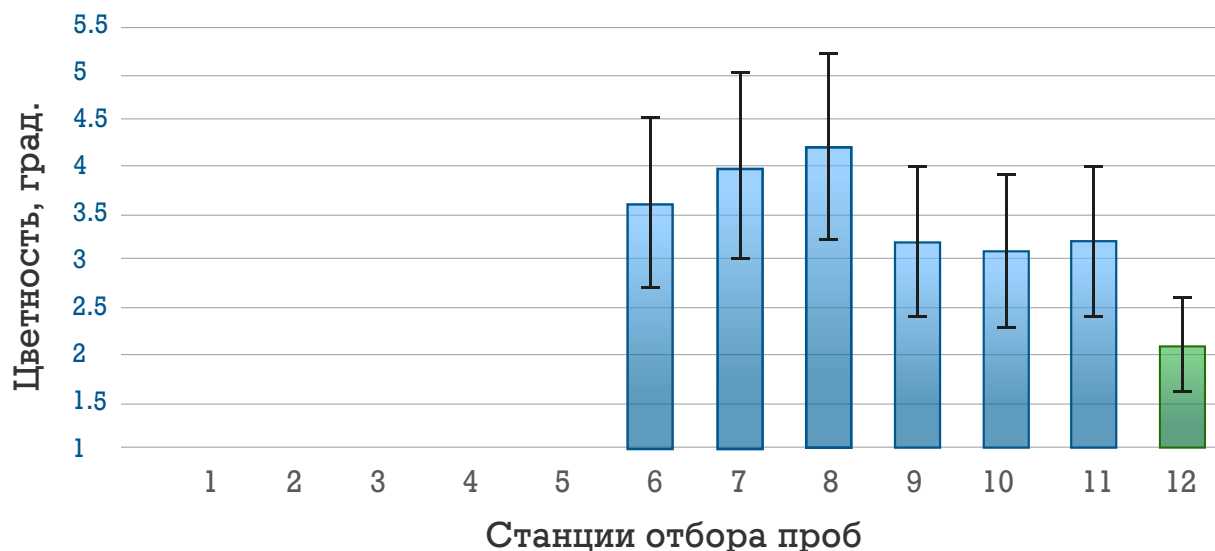
по данным многопараметрического зонда, здесь и далее: 8b – на глубине 2,5 м, 10b – на глубине 5,6 м



Все показатели качества воды, за исключением температуры, цветности, водородного показателя (pH), окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и растворенного кислорода изученных водотоков, существенно отличалась. **Наибольшие превышения, значительно превосходившие фоновые значения, были зафиксированы в ручье Безымянном (точка № 1).** Ниже по течению превышения постепенно снижались. В оз. Пясино превышения отсутствовали, а показатели были ниже фоновых значений. Данные лаборатории и зонда при этом в общем совпадают. Значимых различий данного показателя на различных глубинах озера Пясино не выявлено.

Цветность воды на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.)

по данным лабораторных исследований



При этом на участках № 1 и 5 наблюдались восстановительные условия в водной среде. Это, по всей вероятности, обусловлено активными окислительными процессами, поскольку именно для этих участков характерны максимальные величины содержания органических веществ (по ХПК, ПО и БПК). Следует отметить, что нефтепродукты также относятся к группе органических веществ, которые определяются БПК₅. Однако ниже по течению, в озере Пясино, все показатели уже находились в пределах фоновых значений. Значимых различий данного показателя на различных глубинах озера Пясино не выявлено.

Температура существенно не изменялась на разных участках отбора проб. Водородный показатель (рН), показатели окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и растворенного кислорода изученных водотоков также демонстрировали увеличение от участка 1 к участку 12. Цветность воды изученных водных объектов существенно отличалась, что связано с содержанием в ней природных гуминовых кислот и фульвокислот или железа. Наибольшей она была в озере, где достигла 4,2 градусов, что сопоставимо с фоновым значением реки Норильская (2,1 градуса). Эти значения могли быть обусловлены процессами заболачивания в водосборах этих водных объектов, а не антропогенными факторами.

Нефтепродукты

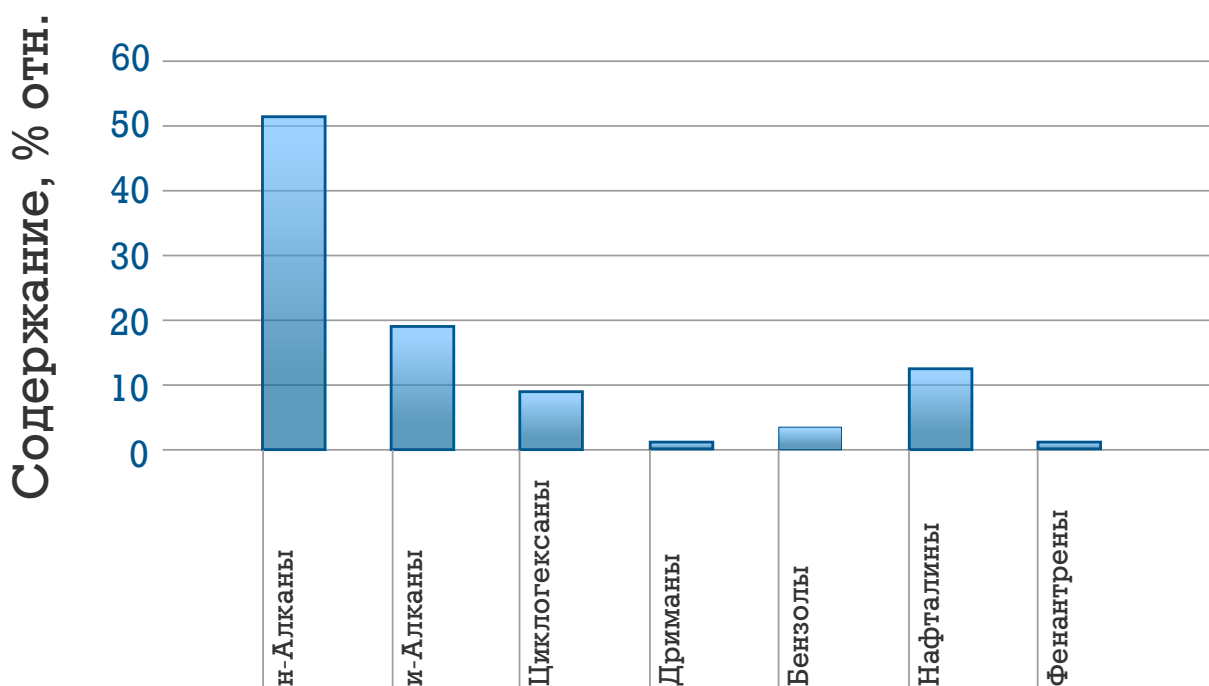
Для распознавания источника возможного загрязнения растений, почвы и водных объектов на территории, пострадавшей от разлива нефтепродуктов на ТЭЦ-3, ИХН СО РАН был исследован состав исходных нефтепродуктов.

Показано, что исследованное дизельное топливо (ДТ) представляет собой набор преимущественно насыщенных углеводородов (УВ), более чем на 70% состоящих из алканов: около 50% n-алканов C₁₀-C₂₆, содержание которых равномерно снижается от C₁₂ (максимальное содержание C₁₁ и C₁₂) с ростом молекулярной массы до C₂₀, затем резко падает (на алканы с C_n>C₂₀ приходится меньше 4%). Коэффициент нечетности n-алканов (CPI) составляет 1,05. Присутствует около 20% изопреноидных C₁₃-C₂₀ алканов (величина отношения пристана к фитану составляет 1,1).

Идентифицировано 10% C₁₄-C₂₅ алкалциклогексанов. Обнаружено присутствие изомеров C₁₅ и C₁₆ бициклических насыщенных структур ряда дримана, составляющих около 1% исследованного ДТ. Идентифицировано присутствие около 13% нафталинов – бициклических ароматических УВ, представленных нафталином, монометил-, диметил-, триметил- и тетраметилзамещенными структурами, 1,1% трициклических фенантронов (фенантрен и его метил-, диметил- и триметилзамещенные гомологи) и 3,9% C₁₀-C₁₉ алкилбензолов. Величина отношения содержания суммы алканов к нафталинам составляет 5,1, нафталинов к фенантренам – 11,8. В исследованном ДТ отсутствуют УВ с числом ароматических циклов больше трех и нафтеновых циклов больше двух. По данным РФА, наличия металлорганических соединений в ДТ не обнаружено (< 10-6%), содержание серы составляет 0,16%.

” Для распознавания источника возможного загрязнения растений, почвы и водных объектов на территории, пострадавшей от разлива нефтепродуктов на ТЭЦ-3, ИХН СО РАН был исследован состав исходных нефтепродуктов.

Состав дизельного топлива из резервуара на ТЭЦ-3



Присутствие n-алканов до C₂₀ без преобладания соединений с нечетным числом атомов углерода в молекуле, отношение пристана к фитану близкое к 1.1, а также наличие дримановых структур могут быть использованы для идентификации в объектах исследуемой территории загрязнения, обусловленного разливом именно этих нефтепродуктов. Наличие в природных объектах этой территории соединений с большим числом ароматических и насыщенных циклов может быть следствием их загрязнения нефтепродуктами, выкипающими при более высокой по сравнению с ДТ температуре, а присутствие пирогенных полициклических УВ и неорганических примесей – продуктами деятельности промышленных предприятий. Однако следует учитывать, что на поверхности происходит испарение легких УВ (преимущественно C₁₀-C₁₃) и снижение при неизменном СРІ их доли в составе n-алканов.

По данным ИВЭП СО РАН, общее содержание нефтепродуктов в воде изученных водных объектов и их пространственное распределение крайне неоднородно. Содержание нефтепродуктов в воде наиболее загрязненных участков водотоков (ручей Безымянный, р. Далдыкан, р. Амбарная) значительно выше фоновых (до 0,41 мг/дм³). Причем, как ранее было показано, на участках № 1 и 5 наблюдались восстановительные условия в водной среде. Это, по всей вероятности, обусловлено активными окислительными процессами нефтепродуктов, которые фиксируются на этих участках.

Для этих же участков характерны максимальные величины других показателей валового содержания органических веществ (ХПК, ПО и БПК₅). Следует отметить, что нефтепродукты также относятся к группе органических веществ, которые определяются этими методами. **Однако в озере Пясино концентрации нефтепродуктов находятся в пределах фоновых значений (ниже пределов обнаружения используемых методов химического анализа) и**

Молекулярно-массовое распределение n-алканов в воде вблизи правого берега оз. Пясино (с 27.07.2020 по 15.08.2020 г.)



ниже ПДК_{рх}, что может свидетельствовать об эффективности использованных боновых заграждений для защиты от распространения нефтепродуктов.

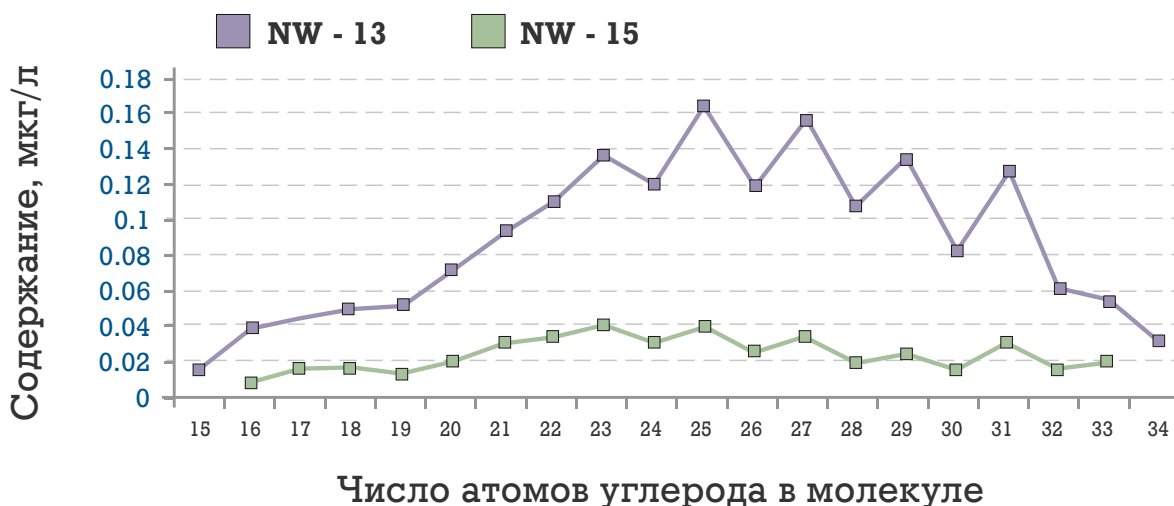
Более подробное исследование проб воды на содержание углеводородов (нефтепродуктов) было выполнено в лаборатории ИХН СО РАН.

Методом ГЖХ было установлено, что только в районе впадения р. Далдыкан в р. Амбарная (образцы W-6 и W-7) и в пойме р. Амбарная (образец W-D5) присутствуют характерные для нефтепродуктов алканы. При этом в воде р. Далдыкан в составе n-алканов зафиксированы C15-C31 гомологи с преобладанием C20, C21. По всему ряду отсутствует доминирование гомологов с нечетным числом атомов углерода в молекулах, характерным для УВ растительного происхождения. В р. Амбарная доля C15-C20 весьма незначительна, основными являются C27-C29, а в пойме р. Амбарная в составе алканов отсутствуют гомологи с числом атомов углерода меньше C21. Это свидетельствует о быстром испарении относительно легких фракций УВ (до C15-C21) в водной среде по мере удаления от источника их поступления.

В водах оз. Пясино вблизи правого берега (образец W-11), по данным ГХ-МС, n-алканы, идентифицированные в количестве 131,4 мкг/дм³ представлены набором C19-C34, причем основная масса (C22-C34) характеризуется преобладанием «нечетных» гомологов с CPI = 1,64.

Это, а также наличие среди УВ ненасыщенных структур гопенов и олеаненов, свидетельствует о преимущественном вкладе в состав водного органического вещества соединений, продуцированных цветковыми водными или наземными растениями. О наличии незначительного загрязнения воды нефтепродуктами свидетель-

Молекулярно-массовое распределение n-алканов в воде вблизи левого и северного берегов оз. Пясино (с 27.07.2020 по 15.08.2020 г.)



ствует присутствие n-алканов C19-C22 без преобладания «нечетных» и пентациклического гопана C30 17 α 21 β , присущего обычно высококипящим нефтепродуктам. Последнее ставит под сомнение ДТ как источник нефтяного загрязнения вод этого участка озера и позволяет высказать предположение о возможном попадании здесь в воду мазута.

Севернее, в районе левого берега (образец W-13), в воде присутствует малое количество УВ, представленных n-алканами C15-C32 (1,8 мкг/дм³) с незначительным преобладанием «нечетных» в области C22-C32. На севере озера вблизи истока р. Пясино (образец W-15) содержание в воде n-алканов еще ниже (0,5 мкг/дм³). По составу они аналогичны образцу W-13.

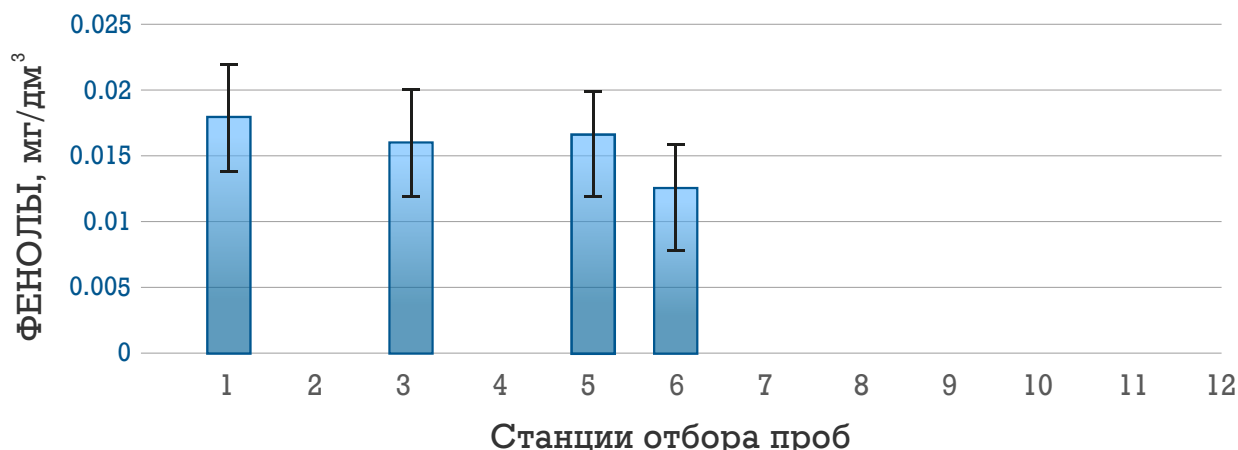
Характеристические соединения, на основании которых могли бы быть сделаны выводы об источнике нефтяных (C15-C20) компонентов, составляющих 0,49 и 0,15 мкг/л воды этих участков, не обнаружены, возможно, вследствие очень низкого содержания в ней УВ.

Фенольный индекс

Фенольный индекс — это обобщенный показатель, включающий группу летучих алкифенолов (фенолов, содержащих в молекуле метильные, этильные и т.д. группы), реагирующих с 4-аминоантипирином.

По данным лабораторных исследований суммы фенолов в воде изученных водных объектов, их пространственное распределение крайне неоднородно. Содержание фенолов в воде наиболее загрязненных участков водотоков (ручей Безымянный, р. Далдыкан, р. Амбарная) значительно выше фоновых (до 0,018 мг/дм³). Ниже по течению их концентрации плавно падали. Причем, как ранее было показано, на участках № 1 и 5 фиксировались восстановительные условия в водной среде. Это, по всей вероятности, обусловлено активными окислительными процессами органики (нефтепродуктов), которые наблюдаются на этих участках. Для этих же участков характерны максимальные величины других показателей валового содержания органических веществ (ХПК, ПО и БПК). Следует отметить, что фенолы также относятся к группе органических веществ, которые определяются этими методами.

Фенольный индекс в воде на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.) по данным лабораторных исследований



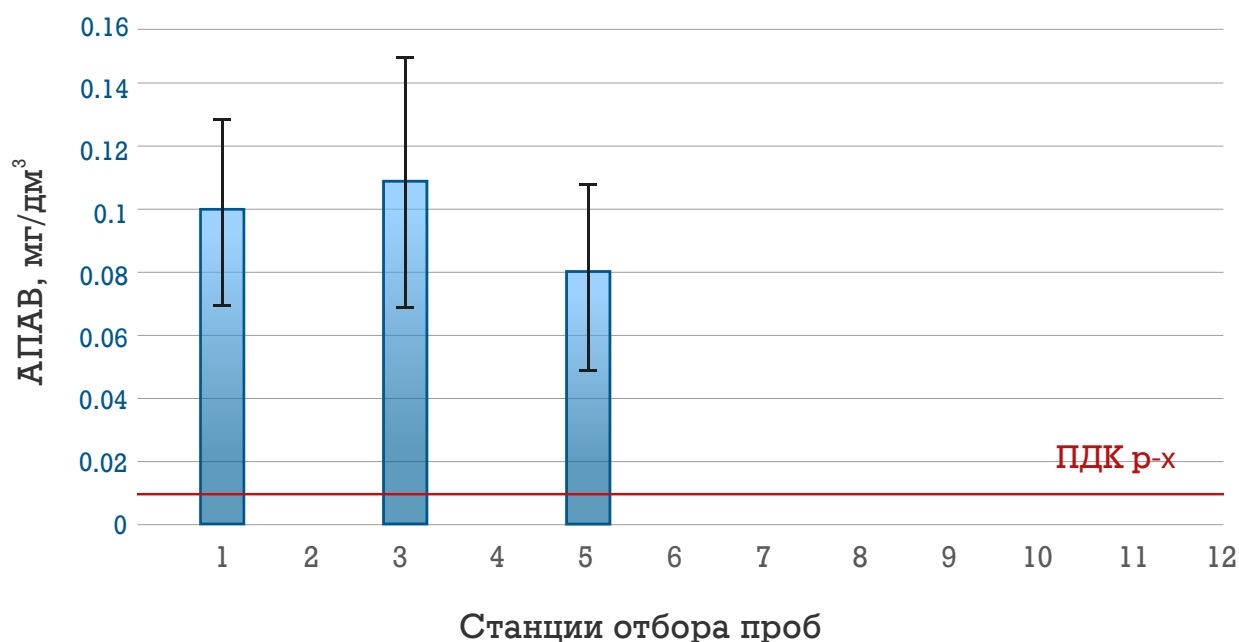
Однако в озере Пясино концентрации фенолов находятся в пределах фоновых значений (ниже пределов обнаружения используемых методов химического анализа), т.е. ниже ПДК_{р-х}.

ПАВ анионноактивные (анионные поверхностно-активные вещества)

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела термодинамических фаз, вызывают снижение поверхностного натяжения.

По данным лабораторных исследований АПАВ в воде изученных водных объектов, их пространственное распределение крайне неоднородно. Содержание АПАВ в воде наиболее загрязненных

АПАВ в воде на различных участках исследованных водных объектов (04-11.08.2020 г.) по данным лабораторных исследований



участков водотоков (ручей Безымянный и р. Далдыкан) значительно превышает фоновые и немного (в 1,1 раза) – ПДКрх, достигая максимума в створе № 3 (0,11 мг/дм³). Ниже по течению их концентрации падали. При этом в озере Пясино концентрации АПАВ были уже в пределах фоновых значений (ниже пределов обнаружения используемых методов химического анализа) и ниже ПДКрх. Таким образом, можно предположить, что повышенные концентрации фенолов обусловлены проливом нефтепродуктов на ТЭЦ-3 или связаны с рекультивационными работами в районе ТЭЦ-3 (если были использованы специальные реагенты)

Основные выводы

Ключевые показатели качества воды изученных водотоков существенно отличалась. Наибольшие превышения, значительно превосходящие фоновые значения, были зафиксированы в ручье Безымянном. Ниже по течению превышения постепенно снижались. В оз. Пясино превышения отсутствовали, а показатели были ниже фоновых значений.

На ряде участков наблюдались восстановительные условия в водной среде, очевидно, обусловленные активными окислительными процессами.

Температура существенно не изменялась на разных участках отбора проб. Водородный показатель (рН), показатели окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и растворенного кислорода изученных водотоков демонстрировали увеличение от ручья Безымянного до истока реки Пясины.

Выдвинута гипотеза, что изменения цветности воды изученных водных объектов могут быть обусловлены процессами заболачивания в водосборах этих объектов, а не антропогенными факторами.

Ряд параметров свидетельствует о преимущественном вкладе в состав водного органического вещества, выявленного в обследованном водотоке, соединений, продуцированных цветковыми водными или наземными растениями.

” Выдвинута гипотеза, что изменения цветности воды изученных водных объектов могут быть обусловлены процессами заболачивания в водосборах этих объектов, а не антропогенными факторами.

Общее содержание нефтепродуктов в воде изученных водных объектов и их пространственное распределение крайне неоднородно. Содержание нефтепродуктов в воде наиболее загрязненных участков водотоков (ручей Безымянный, р. Далдыкан, р. Амбарная) значительно выше фоновых. При этом сравнительный анализ исходного загрязнителя (ДТ) и проб, собранных в пострадавших водоемах, говорит о наличии незначительного загрязнения воды нефтепродуктами на ряде участков. Это ставит под сомнение ДТ как источник нефтяного загрязнения вод озера Пясино и позволяет высказать предположение о возможном попадании здесь в воду мазута.

Концентрации фенолов в озере Пясино находятся в пределах фоновых значений и ниже ПДКрх. Содержание АПАВ в воде наиболее загрязненных участков водотоков (ручей Безымянный и р. Далдыкан) значительно превышает фоновые и в 1,1 раза – ПДКрх. Можно предположить, что повышенные концентрации фенолов обусловлены проливом нефтепродуктов на ТЭЦ-3 либо ассоциированы с рекультивационными работами в районе ТЭЦ-3.



Направление «Донные отложения»

Цель исследования — определить характер воздействия разлива на ТЭЦ-3 на донную фауну пострадавших водных объектов.

В данном контексте, были решены следующие задачи:

- осуществить отбор образцов с последующим изучением видового состава донных бактерий;
- оценить степень устойчивости экосистемы в стрессовых условиях;
- выявить процессы самоочищения водных объектов с помощью гидробионтов.

Донные отложения для определения видового состава донных бактерий молекулярно-генетическими методами (NGS) отбирались стерильным пластиковым шприцем с отрезанным игольным концом в трех разных точках каждого участка и объединяли в одну пробу. Грунт помещался в пластиковые зип-пакеты и хранился в морозильной камере при температуре -18°C . Всего было отобрано 13 проб грунта.

Пробы зообентоса в реках и прибрежных участках озера отбирались с глубины 0,5–1,5 м круговым скребком Дулькейта (площадь захвата 0,09 м²), а в глубоководной части озера (участки № 8 и № 10) — с глубины 3–6 м дночерпателем Петерсена (площадь захвата 0,025 м²).

Отобранный грунт промывали через мельничный газ № 28 с размером ячеи 240 мкм. В стационарных условиях беспозвоночных выбирали из пробы пинцетами и фиксировали в 80%-ном этаноле. Всего было отобрано 13 проб зообентоса.

Как известно, главными условиями, определяющими видовой состав и количественное развитие донной фауны, является характер грунта, состав и обилие высшей водной растительности, скорость течения, а также глубины отдельных участков водоема и колебания уровня воды.

Сбор проб зообентоса оз. Пясино выполнен после аварийного поступления нефтепродуктов. Для грунтов с признаками нефтяного загрязнения характерна бедность видового состава зообентоса при высокой численности и биомассе выносливых к загрязнению форм, а при сильном хроническом загрязнении наблюдается угнетение всего сообщества, включая устойчивые формы.

Гидробиологические исследования, проведенные во время поступления загрязнений, позволяют оценить степень устойчивости экосистемы в стрессовых условиях, выявить процессы самоочищения водных объектов с помощью гидробионтов.

В исследованных водных объектах обнаружено 36 видов и таксонов более высокого ранга макробеспозвоночных, широко распространенных в Палеарктике и Голарктике. Широкий ареал распространения большинства отмеченных видов, возможно, связан с преобладанием в таксономической структуре зообентоса гетеротопных животных (в частности, хирономид и других представителей двукрылых насекомых), имеющих более широкие возможности для расселения в наземно-воздушной стадии развития. Наибольшее видовое разнообразие (21 таксон) отмечено среди двукрылых насекомых семейства Chironomidae (хирономиды). Олигохет зарегистрировано 4 таксона, моллюсков — 3, личинок ручейников — 2 таксона.

Остальные группы беспозвоночных (нематоды, амфиподы, гидрокарины, личинки веснянок, мокрецов, комаров-болотниц) представлены единично. Для некоторых личинок насекомых не удалось установить видовую принадлежность в связи с их малочисленностью и отсутствием экземпляров взрослых стадий развития. Кроме того, до вида не определялись нематоды и гидрокарины.

Хиროномиды обнаружены во всех районах исследования, но массового развития они достигали в фоновом районе р. Далдыкан (ст. 2), и в р. Пясино (ст. 11). В этих районах рек на заиленном песке и камнях развился псаммо-литофильный комплекс хируномид, в доминирующую группу вошли *Microsectra graecox* (ст. 2),



Карта пробоотбора донных отложений

Paracladopelma camptolabilis (ст. 11), *Monodiamesa bathyphila* (ст. 11). Совместно с ними встречены хириномиды реофильного и фитофильного комплексов р. *Parakiefferiella*, *Orthocladius*, *Cricotopus*. Все личинки являются индикаторами «слабо загрязненной» воды.

На остальных водных объектах хириномиды представлены существенно беднее и качественно, и количественно. В р. Амбарная в фоновом районе (ст. 4) и в районе ниже устья р. Далдыкан (ст. 5) зарегистрированы пелофилы р. *Chironomus* (индикатор загрязненной воды), в районе выше бонов (ст. 6) – пелофилы *Cryptochironomus defectus* (индикатор слабо загрязненной воды), в районе ниже бонов (ст. 13) – пелофилы р. *Procladius* и псаммо-пелофилы *Psectrocladius delatoris* (индикаторы слабо загрязненной воды).

В озере Пясино в иловых отложениях в районе мыса Тонкий хириномиды представлены единично оксибионтным видом *Monodiamesa bathyphila*, в районе мыса Голый совместно с этим видом зарегистрированы *Paracladopelma camptolabilis*, *Procladius ferrugineus*, *Polypedilum scalaenum*. Все виды хириномид, зарегистрированные в озере, являются индикаторами слабо загрязненной воды.

Олигохеты, которые предпочитают биотопы с органическим загрязнением, характеризующиеся низким содержанием кислорода,

зарегистрированы в ручье Безымянный (ст. 1), на всех станциях исследования реки Амбарная (ст. 4, 5, 6, 13), в районе мыса Голый оз. Пясино (ст. 10). Среди олигохет преобладали пелофилы *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri* (индикаторы «грязной» воды). Олигохеты по типу питания являются грунтоедомы. Они потребляют органическое вещество из грунта, тем самым участвуя в процессах самоочищения водного объекта. Присутствие этих донных животных в ручье Безымянном, в р. Амбарная (на всех станциях исследования) и в районе мыса Голый указывает на то, что здесь скопились органические вещества в виде иловых отложений. Органические вещества, возможно, образовались вследствие разложения высшей водной растительности, вымывания органических веществ из прибрежного грунта,

поступления органики с током воды из вышележащих районов реки или в результате антропогенной деятельности.

Брюхоногие моллюски *Anisus acronicus*, *Valvata depressa* зарегистрированы единично и только в районе мыса Тонкий оз. Пясино (ст. 8). Все указанные беспозвоночные животные являются индикаторами «слабо загрязненной» воды. Ранее моллюски также были отмечены в качестве доминирующего таксона зообентоса именно в восточной части озера (м. Еловый) (Андреев и др., 1999).

Представители трех отрядов водных беспозвоночных: Ephemeroptera (поденки), Plecoptera (веснянки), Trichoptera (ручейники) широко распространены в разнотипных водных экосистемах, в том числе мелких быстротекучих водотоках с низкими

Хириномиды обнаружены во всех районах исследования, но массового развития они достигали в фоновом районе р. Далдыкан (ст. 2), и в р. Пясино (ст. 11). В этих районах рек на заиленном песке и камнях развился псаммо-литофильный комплекс хириномид, в доминирующую группу вошли *Microsectra graesox* (ст. 2), *Paracladopelma camptolabilis* (ст. 11), *Monodiamesa bathyphila* (ст. 11). Совместно с ними встречены хириномиды реофильного и фитофильного комплексов р. *Parakiefferiella*, *Orthocladius*, *Cricotopus*. Все личинки являются индикаторами «слабо загрязненной» воды.

температурами воды. Эти гетеротопные животные высоко чувствительны к различного рода загрязнениям и антропогенной нагрузке, что делает их удовлетворительными индикаторами в системах мониторинга текучих вод. Однако в исследованных водных объектах бассейна оз. Пясино эти беспозвоночные практически отсутствовали, что может быть обусловлено как абиотическими факторами (грунт, содержание растворенного кислорода в воде, температура др.), так и антропогенным влиянием. Личинки ручейников и веснянок отмечены единично в р. Пясино (ст. 11), в фоновом районе р. Далдыкан (ст.2), что свидетельствует о благоприятных условиях для обитания этих реофилов (течение, кислород и др.) только в этих районах рек. Поскольку личинки ручейников являются группой, наиболее чувствительной к нефтяному загрязнению, и первыми исчезают при аварийных разливах, их наличие в р. Пясино свидетельствует об отсутствии значимого нефтяного загрязнения в данной реке.

Наименьшие количественные показатели донной фауны зарегистрированы в устье р. Далдыкан (ст. 3) и в районе мыса Гольй оз. Пясино (ст. 9): общая ее численность составила 11-22 экз./м² при биомассе 0,01 г/м². Наибольшая численность (8320 экз./м²) и биомасса (7,56 г/м²) донных сообществ отмечены в оз. Пясино, в районе мыса Гольй (ст. 10). Ранее наибольшая биомасса зообентоса в оз. Пясино составляла всего лишь 0.83 г/м².

Основные выводы

Наличие и доминирование на всех станциях, кроме ручья Безымянный, рек Далдыкан и Амбарная, личинок ручейников, хирономид, веснянок и амфипод, обыкновенно исчезающих при аварийном нефтяном загрязнении в первую очередь, свидетельствует об отсутствии значимого нефтяного загрязнения этих водных экосистем.

Напротив, доминирование олигохет, отмечаемое в ручье Безымянный, реках Далдыкан и Амбарная, в полном соответствии с картиной известных последствий нефтяных разливов, свидетельствует о влиянии аварии на ТЭЦ-3 на бентосные сообщества данных рек.



Направление «Почва»

В рамках данного направления, целью исследования стало определение воздействия нефтепродуктов, разлившихся в результате аварии на ТЭЦ-3, на почвы изучаемой территории.

Для достижения упомянутой цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать содержание нефтепродуктов в почвах пострадавшего района;
- исследовать характер почв;
- осуществить зонирование территории, подвергшейся воздействию, по степени ее загрязнения.

В период выполнения полевых работ Большой Норильской экспедиции с 27 июля по 21 августа 2020 года сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН были обследованы наземные пойменные экосистемы Норильского промышленного района. Были изучены и оценены изменения биоразнообразия и состояния почвенного покрова пойм ручья Безымянного (он же Надеждинский), рек Далдыкан, Амбарная, Пясины, Дудыпта и Тарья, а также южного и северного берегов озера Пясины.

В ходе полевых исследований на техногенно загрязненных и условно фоновых территориях было выбрано более 60 ключевых участков с точками закладки почвенных разрезов и прикопок, отбора почвенных и растительных проб. Всего было заложено и описано 26 почвенных разрезов и 58 прикопок, отобрано 66 растительных и 62 почвенных проб для лабораторных исследований.

Специалисты ИПА СО РАН проанализировали почвенные и растительные пробы, собранные на обширной территории, простирающейся от места аварии до Карского моря.

Почвенные пробы отбирались в репрезентативной части ключевых участков в почвенных разрезах из генетических горизонтов с соблюдением требований ГОСТ. Почвенные пробы брались индивидуально для проведения различных видов исследований, в том числе анализа плотности сложения и влажности почв, общих показателей их состава и свойств, концентрации нефтепродуктов.

После поступления почвенных проб в Испытательную лабораторию ИПА СО РАН они прошли предварительную подготовку для физико-химического анализа и определения органических загрязняющих веществ в соответствии с требованиями ГОСТ.

Результаты определения основных физико-химических показателей состава и свойств почв пойменных экосистем говорят о варьировании их плотности и увеличении ее значений вглубь почвенной (осадочной) толщи. Степень кислотности почв варьирует в широком диапазоне от очень сильно кислой до нейтральной и, как правило, уменьшается с глубиной. Очень сильно кислая потенциальная кислотность почв (рНКС) и актуальная кислотность водной вытяжки из них (рНН₂O) обнаружена в точках 2, 4/1, 5 и 6, где в почвах выявлено сульфатное засоление. Содержание органического вещества (C_{tot}) и емкость катионного обмена (ЕКО) в основном находилось в пределах нормы для этих почв. Гранулометрический

**Список точек с описаниями разрезов,
проанализированными почвенными
и растительными пробами ИПА СО РАН
от места аварии до Карского моря**

Почв

Растений

№	Название точки	Эко-система	Почва	Кол-во проб	
				Почв	Растений
б/н	Точка 0	фоновая	Аллювиальная	-	1
922	Точка 1	фоновая	Торфяно-криозем	2	-
921	Точка 2	загрязненная	Аллювиально-глеевая	3	-
964	Точка 3	загрязненная	Дерново-аллювиальная	-	2
926	Точка 4	фоновая	Аллювиально-глеевая	2	2
927	Точка 4/1	фоновая	Аллюв.-перегнойно-глеевая	4	-
928	Точка 5	загрязненная	Аллювиально-глеевая	3	2
929	Точка 6	загрязненная	Аллювиальная	1	2
930	Точка 7	загрязненная	Аллювиальная	1	2
931	Точка 8	загрязненная	Аллювиальная	-	2
932	Точка 9	фоновая	Аллювиальная	2	3
933	Точка 10	загрязненная	Аллювиальная	2	2
б/н	Амбарная 1	загрязненная	Аллювиальная	-	2
б/н	Амбарная 2	загрязненная	Аллювиальная	-	2
б/н	Амбарная 3	загрязненная	Аллювиальная	-	2
б/н	Амбарная 4	загрязненная	Дерново-аллювиальная	-	2
976	Дельта 1	фоновая	Аллювиально-глеевая	2	1
977	Дельта 2	загрязненная	Аллювиально-глеевая	2	1

978	Дельта 3	загрязненная	Дерново-аллювиальная	2	1
979	Дельта 4	загрязненная	Аллювиально-глеевая	-	1
980	Дельта 5	фоновая	Дерново-аллюв-но-глеевая	4	2
981	Дельта 6	загрязненная	Дерново-аллювиальная	2	2
982	Дельта 7	загрязненная	Дерново-аллюв-но-глеевая	2	1
ПП1Р1	Ис. Пясины 1	фоновая	Аллювиальная	5	2
ПП2Р2	Ис. Пясины 2	фоновая	Аллювиальная	3	2
ПП3Р3	Ис. Пясины 3-1	фоновая	Аллювиальная	5	-
953	Ис. Пясины 3-2	фоновая	Дерново-аллювиальная глубокоглеевая	2	3
б/н	Ис. Пясины 4	фоновая	Аллювиальная	-	5
б/н	Ис. Пясины 5	фоновая	Аллювиальная	-	5
940	Кресты 1	фоновая	Аллювиально-глеевая	2	2
941	Кресты 2	фоновая	Аллювиальная	2	1
942	Кресты 3	фоновая	Торфяно-аллювиальная глубокоглеевая	-	1
936	Тарей 1	фоновая	Аллювиальная	2	1
937	Тарей 2	фоновая	Аллюв-но-глубокоглеевая	-	1
938	Тарей 3	фоновая	Аллювиальная	2	1
946	Карское 1	фоновая	Торфяно-глеезем	2	3
947	Карское 2	фоновая	Торфяно-глеезем криотурбированный	-	2
948	Карское 2/1	фоновая	Торфяно-глеезем	-	-
949	Карское 3	фоновая	Глеезем криотурбированный	2	1

**Общее содержание нефтепродуктов (НП)
в почвах и его оценка, мг/кг**

Точка	Слой	As	Точка 9	0-10	1,9	ИП 2	1-4	1,8
	см			10-20	1,5		4-18	1,6
1	2	3	Точка 10	0-5	2,7	ИП 3-1	18-35	2,2
Точка 1	10-15	1,2		5-15	1,2		5-10	2,3
	30-40	2,2	Дельта 1	0-10	1,6		10-17	2,8
Точка 2	0-10	3,4		10-20	1,8		17-47	2,6
	18-25	1,1	Дельта 2	0-10	2,1	47-60	2,4	
	30-40	2,2		10-20	2,2	60-70	3,0	
Точка 4	3-9	2,2	Дельта 3	0-10	2,6	ИП 3-2	0-10	1,5
	14-19	2,2		10-20	2,2		10-20	1,8
Точка 4/1	0-5	2,6	Дельта 4	0-10	2,1	Кресты 1	0-5	1,4
	5-10	2,2	Дельта 5	0-10	3,0		10-20	1,8
	22-27	2,4		10-20	3,3	Кресты 2	0-10	1,2
	33-37	2,2		20-30	3,1		10-20	1,4
Точка 5	0-5	3,2		50-60	2,1	Тарей 1	0-10	1,5
	5-10	0,4	Дельта 6	0-10	3,6		10-20	2,1
	15-20	2,8		10-20	3,0	Тарей 3	0-5	1,3
Точка 6	0-5	2,8	Дельта 7	0-10	3,1		10-20	1,9
Точка 7	3-8	2,1		10-20	2,6	Карское 1	5-15	2,7
ИП 1*	1-6	2,6	ИП 1*	1-6	2,6		15-25	3,4
	6-16	2,5		6-16	2,5	Карское 3	0-10	1,5
							10-20	2,6
						низкое		
						нормальное		
						избыточное		
						> ПДК		
					Значение			



состав пойменных почв различен. Вблизи района аварии он преимущественно песчаный и супесчаный, а далее и суглинистый.

Основные выводы

Определение и оценка общего содержания нефтепродуктов в изученных пойменных почвах не выявило их высокого, экологически опасного содержания даже неподалеку от места аварии (точки 1-9). Наибольшее содержание нефтепродуктов было обнаружено в точках Дельта 2-7, Истоки Пясины 1 (ИП1). При этом максимальные концентрации нефтепродуктов нередко обнаруживались не в поверхностном, а в лежащем под ним почвенном слое. Нигде не было зафиксировано загрязнение слоев почв на глубину, превосходящую 30-40 см.

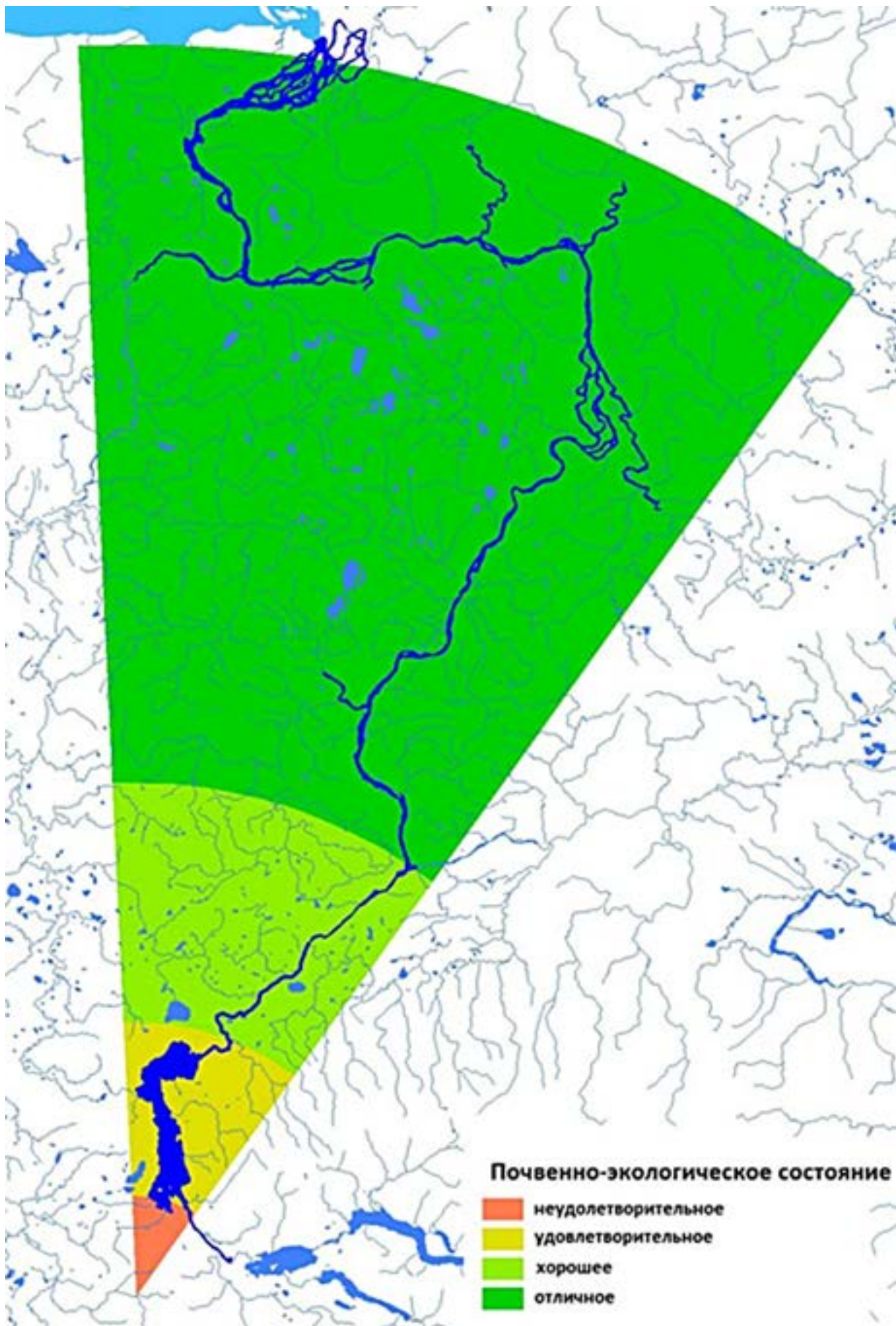
Пойменные почвы вблизи аварии места аварии имели преимущественно песчаный и супесчаный гранулометрический состав с высокой долей крупных скелетных частиц и низким содержанием ила и органического вещества, в силу чего они неспособны поглощать и удерживать значительные количества нефтепродуктов и других химических веществ. Такие состав и свойства пойменных почв predeterminedены тем, что они сформировались на аллювиальных отложениях потоков речных вод с высокой скоростью (энергией) течения, обусловленной большим перепадом высот на этом участке.

Малая глубина проникновения нефтепродуктов в почвы могла быть обусловлена нахождением последних в мерзлом состоянии, которое не дало нефтепродуктам накопиться в почвах и глубоко проникнуть в их толщу.

Малая глубина проникновения нефтепродуктов в почвы могла быть обусловлена нахождением последних в мерзлом состоянии, которое не дало нефтепродуктам накопиться в почвах и глубоко проникнуть в их толщу.

По уровню загрязнения и трансформации наземных экосистем обследованная территория может быть предварительно разделена на 4 зоны:

1. Районы вблизи Норильска до дельты реки Амбарная (наиболее трансформированная территория) – неудовлетворительное состояние.
2. Территория от дельты реки Амбарная до истоков реки Пясино (относительно средний уровень загрязнения) – удовлетворительное состояние.
3. Слабо трансформированная территория от среднего течения реки Пясино (Кресты) до точки Тарей – хорошее состояние.
4. Территории, не подверженные техногенному воздействию Норильского промышленного района от Тарей до Карского моря – отличное почвенно-экологическое состояние.



Почвенно-экологическое состояние территории исследования БНЭ.



Направление «Биоразнообразии»

Целью исследования по данному направлению является установление характера воздействия последствий аварии на ТЭЦ-3 на биоразнообразии изучаемого района.

Настоящая цель достигается с помощью решения следующих задач:

- оценить показатели фиторазнообразия местной растительности;
- осуществить определение степени деградации растительных сообществ и выделение стадий их нарушенности;
- изучить разнообразие насекомых;
- провести комплексное сравнение видового, полового и возрастного состава местных млекопитающих;
- проанализировать воздействие аварии на местные популяции птиц.

Комплекс исследований по направлению «Биоразнообразии» был разбит на два базовых блока – ботанический и зоологический.

Ботанический блок исследований

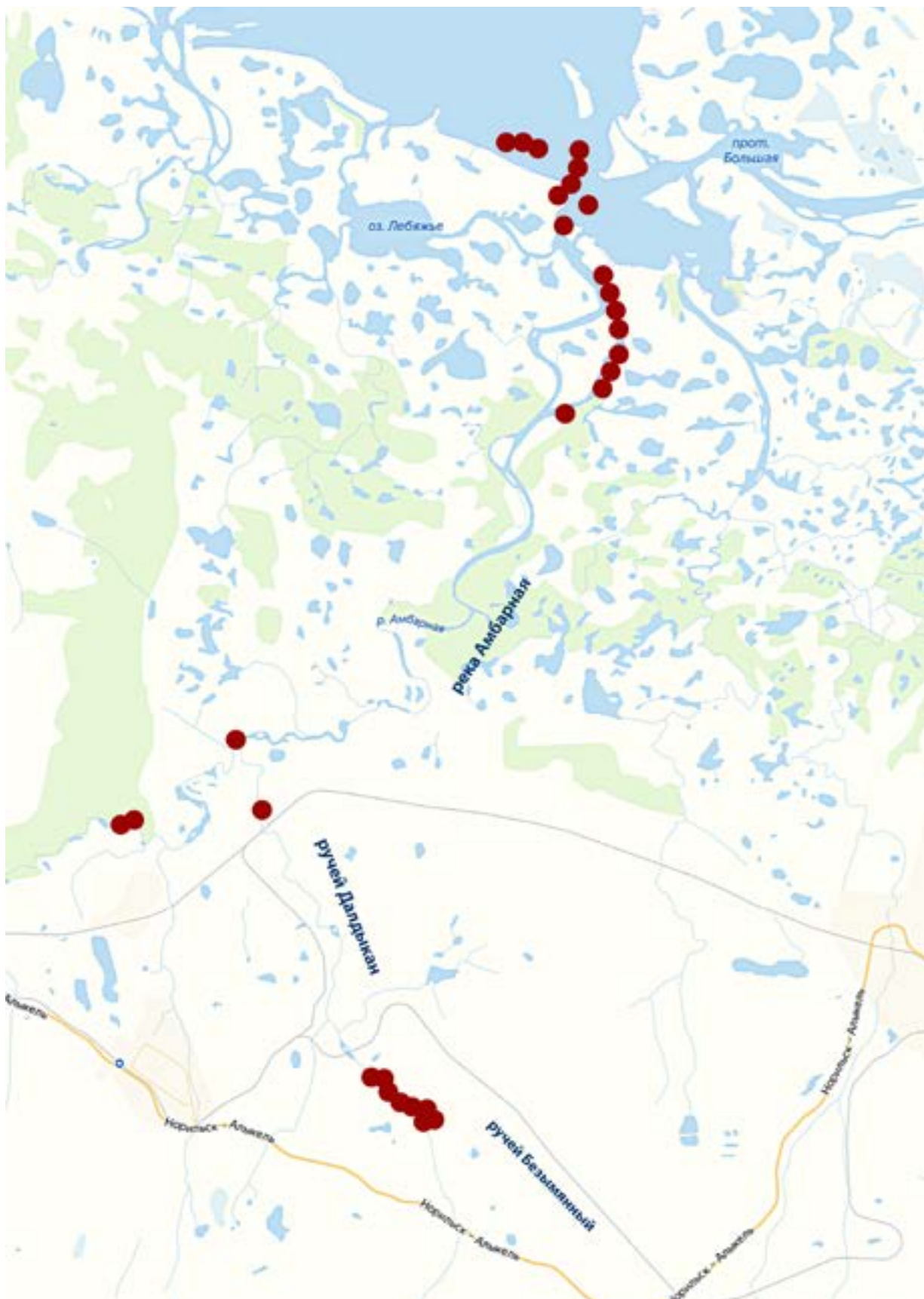
Проведены полевые исследования в местах разлива ГСМ в результате аварии на ТЭЦ-3 в Норильске. Всего выполнено 114 полных геоботанических описаний как в местах, загрязненных нефтепродуктами (55 описаний), так и не загрязненных (аналогичных по составу растительного покрова загрязненным участкам) – 59 описаний. Для уточнения видового состава растительных сообществ собран гербарий сосудистых растений в количестве 201 гербарных листов, мхов и лишайников в количестве 65 гербарных пакетов (55 пакетов мхов и 10 лишайников). Исследования проведены в следующих районах: ручей Безымянный и реки Далдыкан и Амбарная, истоки реки Пясины, слияние рек Пясины и Дудыпта (п. Кресты), Пясины и Тарей (п. Тарей), устье р. Пясины (Карское море).

В качестве фоновых участков использованы растительные сообщества, располагающиеся в местах слияния незагрязненных участков ручьев и рек с загрязненными участками ручья Безымянный и рек Далдыкан, Амбарная и Пясины. Также в качестве фоновых использовались сообщества, приуроченные к руслам рек, по которым шел сброс углеводородов, но которые по разным причинам не подверглись влиянию ДТ.

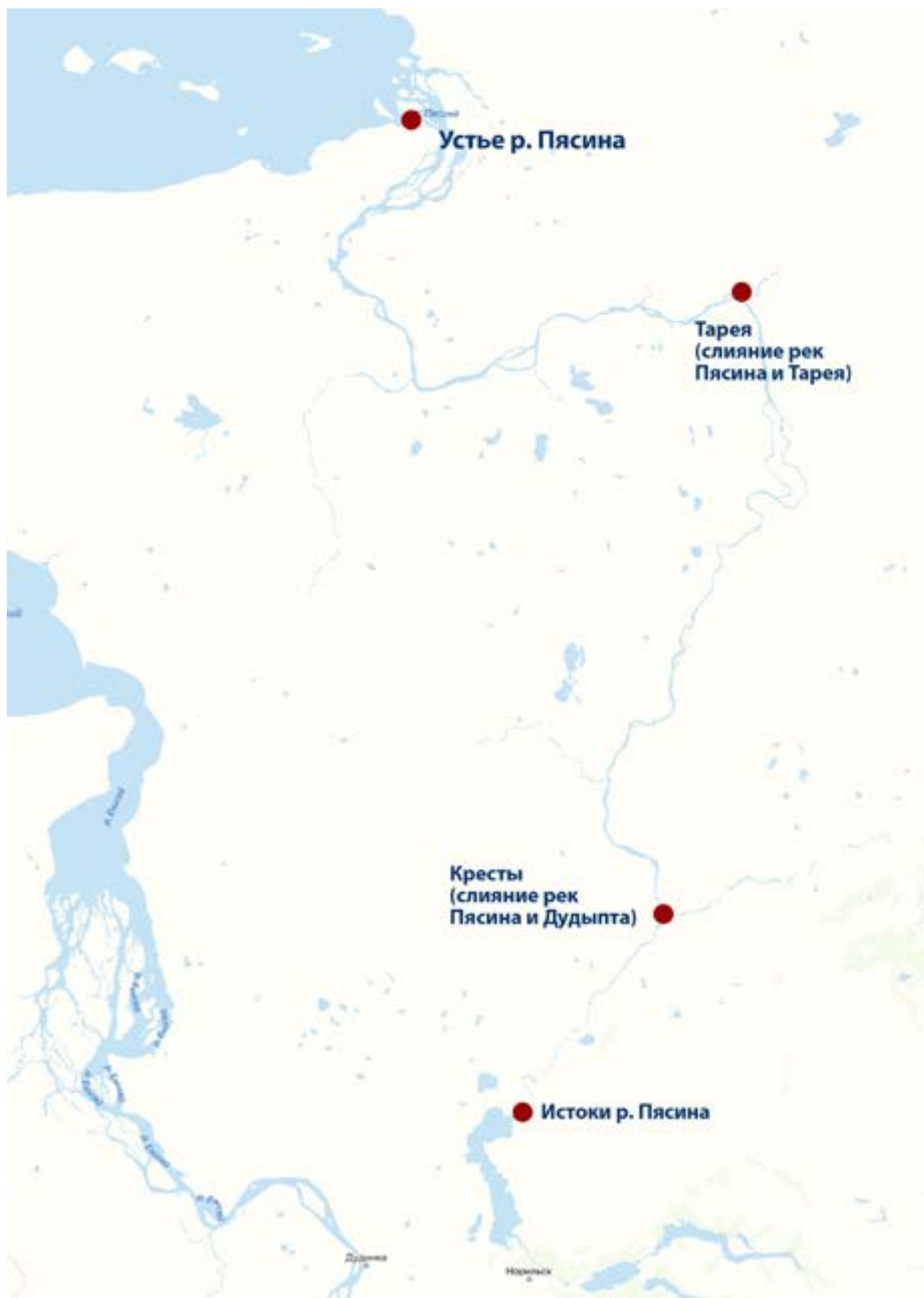
Фиторазнообразие растительности региона оценивалось через показатели альфа-, бета- и гамма-разнообразия.

Альфа-разнообразие – это богатство видами отдельных сообществ. Бета-разнообразие характеризует изменчивость показателей альфа-разнообразия по градиентам факторов среды и определяет разнообразие растительных сообществ. Гамма-разнообразие – это общее разнообразие видов в ландшафте или его части.

Из 114 подготовленных геоботанических описаний 16 не включены в обработку из-за того, что они были сделаны на участках вне поймы исследованных районов (из них 15 фоновых и 1 относящееся к участку с условно нарушенной растительностью). Тем не менее, они



Места отбора ботанических проб в районе Норильского промышленного района.



Места отбора проб на п-ове Таймыр.

дают представление о степени нарушенности растительности изучаемых районов в целом.

В ходе данного блока исследований проводилось определение степени деградации растительных сообществ, выделение стадий нарушенности.

Стадии нарушенности не являются долгопроизводными (сформировавшимися в результате многолетнего влияния углеводородов). Они возникли одновременно из-за катастрофического воздействия ДТ и отличаются от естественных сообществ тем, что часть видов в них погибла из-за химических ожогов нефтепродуктами. Пока неясно, насколько пострадали корневые системы растений, получивших ожоги. Судя по химическим ожогам, оставленным ДТ на растениях в районе низовой р. Амбарная, наибольшее воздействие нефтепродуктов было оказано на растения и растительность участков, частично залитых речными водами. Водные растения и сообщества, которые находились под водой, не пострадали или пострадали в меньшей степени: это — заросли северюбки, рдестовые и побегоносноовсянищевые водные и околводные сообщества. Сильное воздействие оказано на пойменные сообщества — разреженные осоково-злаковые ивняки и осоковые болота.

Количество стадий нарушенности заметно выше на реке Амбарная, что связано с гораздо большей площадью ее поймы и большим разнообразием растительных сообществ, которые в той или иной степени подверглись влиянию нефтепродуктов.

Всего 1 стадия нарушенности отмечена на р. Далдыкан, что, возможно, связано с тем, что на момент разлива топлива ручей был уже полноводным из-за весеннего паводка, и большая часть растительных сообществ была затоплена. В свою очередь, в зоне контакта с нефтепродуктами оказались небольшие и немногочисленные участки мелководий и речных кос с разреженной растительностью, которые слабо заливались вешними водами ручья.

В пойме ручья Безымянный отмечено 3 стадии нарушенности нефтепродуктами. Ручей Безымянный в сравнении с рекой Далдыкан более мелок; к тому же, он расположен вблизи источника поступления соляки — топливного резервуара ТЭЦ-3. Все это способствовало попаданию в зону контакта с ДТ большого числа растительных сообществ.

Определение снижения видового разнообразия и среднего проективного покрытия сообществ

Воздействию нефтепродуктов (ДТ) подверглась только пойменная растительность ручья Безымянный и рек Далдыкан и Амбарная. Наибольшее поражение растительности отмечается в пойме р. Амбарная: здесь видовое разнообразие растительных сообществ сократилось в 3,0 раза (до аварии имелось в среднем 9 видов на 1 фоновое сообщество, после — 3 на 1 аналогичное нарушенное сообщество), а общее проективное покрытие растений сократилось в 2,8 раза (с 70% до 25%). Также существенно влияние на растительность в пойме ручья Безымянного, видовое разнообразие поврежденных участков которого сократилось в 2,8 раза (с 11 видов до 4), а проективное покрытие снизилось в 2,2 раза (53% до 24%). Меньше



изменения растительности выявлено в пойме р. Далдыкан, где видовое разнообразие снизилось в 1,7 раза (с 17 до 10 видов на сообщество), а общее проективное покрытие – в 1,5 раза (с 43% до 28%).

Небольшое снижение видового разнообразия характерно для среднего течения р. Пясины (истоки р. Пясины и п. Таряя), а уже в п. Кресты и устье р. Пясины показатель видового разнообразия условий загрязненных участков превышает фоновый показатель.

Определение снижения общего видового разнообразия на загрязненной территории в целом

Фиторазнообразие нарушенной растительности (все нарушенные сообщества) по сравнению с фоновой (все фоновые сообщества) по ручью Безымянному сократилось в 2,5 раза (фоновая

Определение снижения разнообразия и проективного покрытия мохообразных

	Фоновая растительность (из расчета на 1 растительное сообщество (геоботаническое описание))		Трансформированная растительность (из расчета на 1 растительное сообщество (геоботаническое описание))		Снижение разнообразия (разы)	Снижение проективного покрытия мохообразных (разы)
	Кол-во видов	Среднее проективное покрытие	Кол-во видов	Среднее проективное покрытие		
Ручей Безымянный	2	3	1	1	2.0	3.0
Ручей Далдыкан	2	6	2	6	1.0	0.8
Река Амбарная	3	24	1	1	3.0	24
Истоки р. Пясины	2	24	5	21	-	1.1
Кресты	0	0	3	21	0	0
Река Таряя	0	0	0	0	0	0
Устье р. Пясины	4	7	3	11	1.3	0.6

растительность составила 30 видов, нарушенная – 12 видов), по р. Далдыкан – 3,5 раза (80 и 23), по р. Амбарная – 3,5 раза (74 и 21).

В направлении от ручья Безымянного к устью р. Амбарная наблюдается снижение фиторазнообразия нарушенной растительности. Минимально снижение разнообразия в районах истоков (1,0 раза) и среднего течения р. Пясины (Тарей – в 1,1 раза), а в районах пп. Кресты и устья р. Пясины наблюдается увеличение фиторазнообразия на условно загрязненных участках поймы в сравнении с фоновыми сообществами. Небольшое снижение разнообразия не связывается с влиянием нефтепродуктов, так как последние визуально в этих районах не выявлены. В качестве реакции на загрязнение должны фиксироваться погибшие виды растений, чего не наблюдалось в ходе полевых работ. Скорее всего, это связано с влиянием естественных факторов (особенностями грунтов, высотой снежного покрова, длительностью половодий и др.) или антропогенных факторов, не связанных с аварией на ТЭЦ-3.

Определение снижения разнообразия и проективного покрытия мохообразных

В направлении от руч. Безымянного к устью р. Амбарная видовое разнообразие и проективное покрытие мохообразных на трансформированных углеводородами участках снижается в сравнении с фоновыми. Тем не менее, на р. Далдыкан эти показатели равновелики (по 2 вида на фоновых и нарушенных сообществах и 5% и 6% проективного покрытия соответственно). Это, возможно, вызвано тем, что в процессе перемещения ДТ по р. Далдыкан мхи, предпочитающие низкие участки поймы с хорошим увлажнением, большей частью оказывались на дне водного потока к тому времени полноводной из-за весеннего половодья реки. Слой ДТ находился на поверхности воды и слабо взаимодействовал с мхами, что, как предполагается, и спасло мхи от деградации.

Максимальное количество мхов в исследованных речных долинах отмечается в истоках р. Пясины, а показатель на условно загрязненных участках данной реки выше фоновых значений в 2 раза. Это косвенно свидетельствует об отсутствии здесь загрязнения нефтепродуктами, по крайней мере, не растворенными в воде.

Выявление изменений разнообразия растительных сообществ

В целом разнообразие растительных сообществ (бета-разнообразии) в результате разлива нефтепродуктов не изменилось. Однако в 5 ассоциациях произошла частичная деградация сообществ, когда наряду с фоновыми сообществами синтаксонов низшего уровня (ассоциаций и субассоциаций) возникают их трансформированные аналоги, отличающиеся сниженным видовым разнообразием и наличием растений погибших, в результате прямого контакта с углеводородами.

Зоологический блок исследований

Беспозвоночные

В последнее время биоиндикация является популярным, а в ряде случаев и единственным, экономически эффективным методом мониторинга окружающей среды. Одними из наиболее удобных

Видовой состав и сравнительный анализ насекомых

Систематический список насекомых	Нижнее течение Далдыкана	Фон, Богонида, кустарниковая тундра
Отряд Coleoptera - Жуки / Семейство Carabidae - Жужелицы		
<i>Amara glacialis</i>	14	3
<i>Amara interstitialis</i>	2	14
<i>Bembidion difficile</i>	4	3
<i>Bembidion umiatense</i>	3	5
<i>Blethisa multipunctata</i>	2	7
<i>Carabus henningi</i>	-	2
<i>Curtonotus alpinus</i>	3	-
<i>Diacheila polita</i>	-	4
<i>Dischirius aeneus</i>	2	3
<i>Elaphrus tuberculatus</i>	-	6
<i>Harpalus amputatus</i>	1	8
<i>Miscodera arctica</i>	-	1
<i>Nebria frigida</i>	1	2
<i>Notiophilus aquaticus</i>	5	7
<i>Notiophilus reitteri</i>	2	-
<i>Paradromius ruficollis</i>		1
<i>Pelophila borealis</i>	-	3
<i>Poecilis samojedorum</i>	-	7

<i>Pterostichus brevicornis</i>	12	3
<i>Pterostichus maurusiacus</i>	8	4
<i>Pterostichus middendorffi</i>	2	6
<i>Pterostichus mirus</i>	4	2
<i>Pterostichus ventricosus</i>	3	-
<i>Pterostichus vermiculosus</i>	-	1
Отряд Coleoptera - Жуки / Семейство Chrysomelidae - Листоеды		
<i>Gonioctena linnaeana</i>	1	-
<i>Gonioctena viminalis</i>	2	-
<i>Phratora vitellinae</i>	1	-
Отряд Coleoptera - Жуки / Семейство Elateridae - Щелкуны		
<i>Ascoliocerus sanborni</i>	-	4
<i>Hypnoidus riparius</i>	-	5
Отряд Coleoptera - Жуки / Семейство Staphylinidae - Стафилины		
<i>Pella limbata</i>	-	7
Отряд Heteroptera - Клопы / Семейство Saldidae - Прыгуны		
<i>Calacanthia trybomi</i>	13	2
<i>Chiloxantus stellatus</i>	15	4
Итого:		
Всего Семейств:	3	4
Всего Родов:	13	19
Всего Видов:	21	25
Всего Экземпляров:	99	111
Индекс Маргалефа:	4,4	5,1



объектов мониторинга являются насекомые. Этот класс животных отличается высоким видовым разнообразием и численностью, занимая различные экологические ниши. Многие насекомые весьма чувствительны к изменениям окружающей среды и могут откликаться на ее изменения, на разных уровнях своей организации.

Наиболее удобны для биоиндикационных работ крупные почвенные животные (представители мезо- и макрофауны).

Жужелицы относятся к числу наиболее удобных объектов для целей биоиндикации. Они отвечают всем основным требованиям, предъявляемым к организмам — индикаторам промышленных загрязнений: многочисленность, доступность в местообитаниях, быстрое чередование генераций, способность аккумулировать загрязняющие вещества, содержание в лабораторных условиях, высокое положение в пищевых сетях.

Сборы насекомых осуществлялись с использованием почвенных ловушек Барбера. В качестве ловушек применялись пластиковые стаканчики объемом 0,2 л с верхним диаметром 70 мм.

Млекопитающие

По экологической характеристике выделено 10 условных техногенных и фоновых биотопов.

Для проведения оценки разлива ГСМ предложено использовать мониторинговые точки, заложенные Институтом леса в предшествующие годы. В результате обследования пробных площадей выделены основные местообитания мелких млекопитающих (ММ). Для отлова ММ было установлено 550 ловушек-давилок Геро на 10 пробных площадях.

Оценка биологического разнообразия энтомокомплексов

Были выявлены представители 2-х отрядов (Coleoptera, Heteroptera), 5-ти семейств, 24-х родов и 35 видов. Всего за время проведения работ было отловлено 210 экземпляров насекомых. Подавляющее число зарегистрированных видов относится к отряду Жесткокрылых. Гораздо беднее представлен отряд Полужесткокрылых, или клопов: в его составе обнаружено всего 2 вида, характерных для сырых мест обитания, возможно, загрязненных ГСМ.

В целом, энтомофауна объекта характеризуется видами, характерными для северных широт. Однако в ее составе встречаются и виды с широким ареалом, захватывающим Южную Сибирь, например, *S. aeruginosus*. Обращает на себя внимание группа листоедов из семейства *Chrysomelidae*. Для представителей этих видов (*G. Linnaeana*, *G. Viminalis*, *Ph. vitellinae*) кормовой базой, в основном, являются кустарниковые растения из рода ив (*Salix*).

Анализ цифровых показателей индексов Маргалеффа показывает слабое нарастание увеличения видового разнообразия от загрязненного биотопа к фону. По всей видимости, в данном аспекте свое влияние оказывает не столько техногенный фактор, сколько приуроченность особей различных видов к свойственным им биотопам.

Рассматривая энтомологические комплексы как объекты биологического мониторинга, можно отметить следующее. В силу своей эко-

логической приспособляемости население карабидоидного комплекса, в частности, жужелиц, имеет свойство долгое время находится под водой во время весеннего паводка. Находясь в анабиотическом состоянии жесткокрылые потребляют минимальное количество кислорода для поддержки своего жизнеспособного состояния. При восстановлении благоприятных условий (схода воды) насекомые этого комплекса полностью восстанавливают все свои биологические функции.

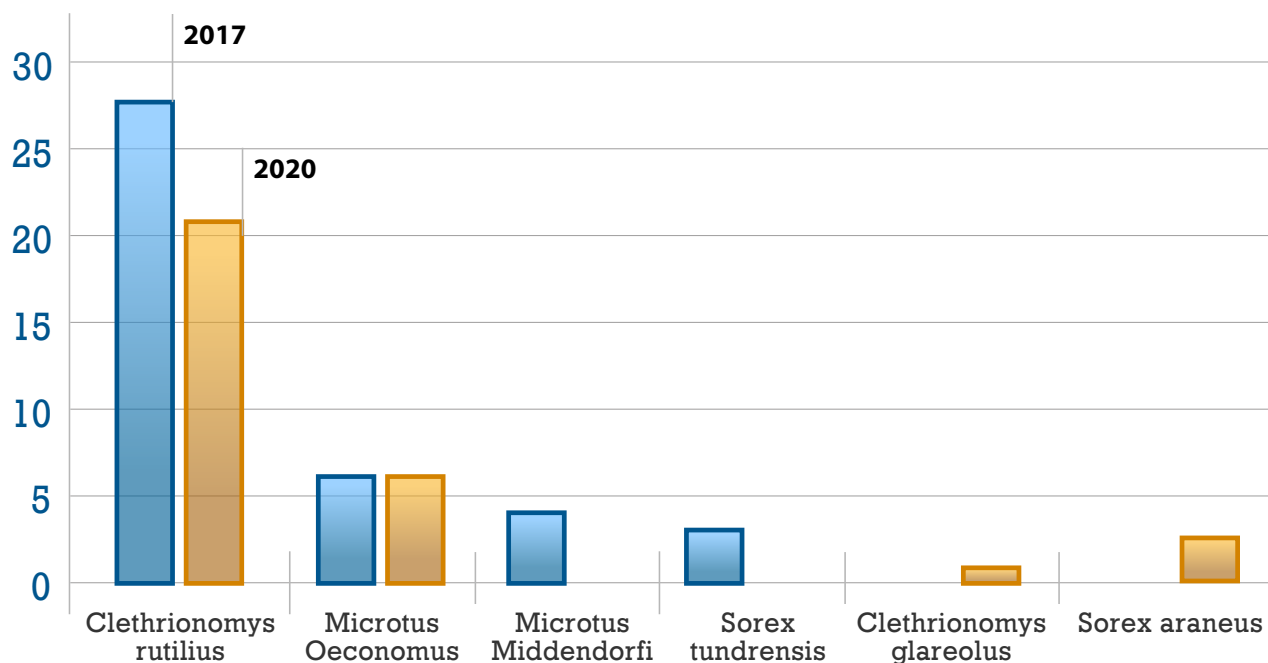
При разливе ГСМ вся напочвенная фауна погибает. Таким же катастрофическим последствием будет подвержена и трофическая составляющая напочвенных жесткокрылых (таких как почвенные клещи, коллемболы, черви, многоножки и наземные моллюски). Дальнейшее восстановление энтомокомплекса будет зависеть от чистоты напочвенного покрова; с появлением на ней кормовой базы, загрязненная территория будет заселена особями с окружающей территории. Такому развитию событий может способствовать и ускоренное развитие насекомых, которые проходят полный цикл за один сезон. Насекомые, способные перемещаться с помощью крыльев, не испытают катастрофического воздействия, поскольку они быстро перемещаются в безопасные зоны, возвращаясь в прежние места обитания после их восстановления.

Биоразнообразие млекопитающих

Сравнение видового, полового и возрастного состава ММ по показателям 2020 года с данными за 2017 год позволяет отметить, что общая численность ММ в 2020 году незначительно снизилась (на 9 особей).

Для большинства площадок кустарниковой тундры и леса преобладающий вид ММ не изменился и представлен большей частью лесными, зерноядными грызунами (красная полевка *Clethrionomys rutilus* Pallas 1779); так же низкой остается численность насекомоядных. Колебания численности зеленоядных серых полевков в учетах

Сравнительная оценка численности ММ по видам в 2017-2020 годах





напрямую зависят от типа биотопа: при увлажнении численность красной полевки снижается и растет численность зеленоядных полевков-экономок.

Помимо видового состава, представлены половой состав и плодовитость беременных самок. В части плодовитости отдельно отмечены средние или поздние сроки беременности отловленных серых и красных полевков.

По одонтологическим показателям определено 3 особи из семейства землеройковых (обыкновенная бурозубка). Полевки, помимо вышеупомянутых зерноядных (красных лесных), представлены зеленоядными серыми полевками-экономками.

Фактическое биоразнообразие всего исследуемого региона условно низкое. Индекс Шеннона по общей выборке равен 1,35 битам при видовом богатстве по Маргалёфу в размере 0,87, при этом мера обилия по Уиттеккеру составляет 3,60. Поскольку ареалы землероек обычной и тундряной (которая преобладала в уловах 2017 г.), для Норильска и его окрестностей совпадают, что характерно и для полевки Миддендорфа, то потенциальное видовое богатство по Маргалёфу может достигать 1,44 и более бит.

На площадках № 6 и 7, характерных для горно-лесистой части протекания р. Далдыкан и впадения ее в р. Амбарная, в равной степени встречаются красная полевка и полевка-экономка. При этом как на участке № 1 («Богонида пойма»), так и на участках рек Амбарная (№ 8, 9, 10) и Далдыкан (№ 6, 7), поврежденных ГСМ, отлавливалась полевка-экономка в количестве 1-2 особи на ПП, что указывает на сходную ее численность во всем обследуемом районе вне зависимости от степени и вида поражения. Возможно, это явление стало результатом низкой численности ММ.

Биоразнообразие вдоль русла Амбарной представлено одним доминирующим видом — полевкой-экономкой. Высокая влажность и линейная организация биотопов поймы, включающих как кустарники, так и высокую травяную растительность, определяют оптимальность обитания этого зеленоядного грызуна. Два пролова с характерным повреждением приманки указывают на наличие землероек в пойме, популяции которых отличаются низкой численностью, общей для всего региона.

При анализе внутренних органов у всех отловленных особей не было выявлено инфекционных или обменных патологических процессов. Ожидаемых характерных внешних изменений в виде хронических поражений внутренних органов в результате последствий разлива топлива не обнаружено. Внешних загрязнений кожи и изменений со стороны шерстного покрова не наблюдалось. Физиологичными были слизистые оболочки конъюнктивы, ротовой полости и пищеварительного тракта.

В ходе осмотра внутренних органов серых полевков, отловленных в зоне разлива дизельного топлива, было выявлено, что они продолжали питаться зеленой массой осочково-злаковых растений, характерных для русла реки Амбарной. При вскрытии желудка, тонкого и толстого отдела кишечника и при промывке их содержимого не обнаружено масляных пятен, характерных для ГСМ. Слизистая ротовой полости, желудка и кишечника не содер-

жала покраснений, кровоизлияний или посторонних предметов/ веществ, отличных от естественного секрета пищеварительного тракта.

Печень и прочие железы также были физиологически нормальными. Определение стресс-факторов по состоянию надпочечников затруднялось тем, что период отбора проб совпал с периодом беременности большей части отловленных особей. Беременность в данном случае сильно затрудняет оценку надпочечников, существенным образом изменяя метаболизм гормонов, приводящий к нормальному морфологическому увеличению по аналогии со стрессом. Из 4 отловленных самок 3 имели по 6-7 сформированных эмбрионов (одна особь имела половые органы без признаков патологии, однако в размножение не вступала). **Наличие сформированных в нормальном количестве жизнеспособных плодов у отловленных особей указывает на низкую степень действия техногенных факторов фоновых площадок и на высокий потенциал восстановления территории (при условии ликвидации последствий для растительности), без деградации количества видов и плотности населения ММ.**

Высокая плодовитость и половой состав позволит ММ в течение одного благоприятного весенне-летнего сезона (при условии сбора большей части ГСМ) восстановить численность до оптимума, определяемого емкостью кормовых угодий долин рек.

Биоразнообразие орнитофауны

Учтено 11 видов птиц, однако при этом оценка фонового состояния орнитофауны затруднена. Потенциально во время пролета и гнездования отмечалось около 120 видов птиц.

Следует отметить, что птицы-миофаги (мышееды) изымают мышевидных при их отклонениях от нормального поведения. Возможно, именно по этой причине не были обнаружены зверьки с патологическими изменениями.

” Для большинства видов птиц характерно сезонное использование тундры для размножения, поэтому, прилетая весной, птицы выбирают биотопы, соответствующими их экологическим требованиям. В связи с этим, большинство видов мигрирующих птиц не могут подвергаться неблагоприятным воздействиям..

Обращает внимание, что по береговой линии поймы р. Амбарной (озерно-болотный ландшафт) встречались только одиночные особи белой трясогузки, хотя в это время они должны держаться семейными группами. Поведенческих отличий для других видов (кряква, тундряная чечетка, овсянка-крошка) не отмечено. Для большинства видов птиц характерно сезонное использование тундры для

размножения, поэтому, прилетая весной, птицы выбирают биотопы, соответствующими их экологическим требованиям. В связи с этим, большинство видов мигрирующих птиц не могут подвергаться неблагоприятным воздействиям.

Основные выводы

Наибольшее воздействие нефтепродуктов было оказано на растения и растительность участков, частично залитых речными водами. Водные растения и сообщества, которые находились под водой, не пострадали или пострадали в меньшей степени. Сильное воздействие оказано на пойменные сообщества.



Количество стадий нарушенности растительности заметно вверх по течению реки Амбарная, что связано с гораздо большей площадью ее поймы и большим разнообразием растительных сообществ. На р. Далдыкан отмечена 1 стадия нарушенности нефтепродуктами, в пойме ручья Безымянный – 3 стадии.

В направлении от ручья Безымянного к устью р. Амбарная наблюдается снижение фиторазнообразия нарушенной растительности. Небольшое снижение видового разнообразия характерно для среднего течения р. Пясины, тогда как в области ее устья этот показатель превышает фоновый.

Максимальное количество мхов в исследованных речных долинах отмечается в истоках р. Пясины. На условно загрязненных участках упомянутой реки данный показатель превышает фоновые значения в 2 раза, что косвенно свидетельствует об отсутствии здесь загрязнения нефтепродуктами, не растворенными в воде.

В целом разнообразие растительных сообществ в результате разлива нефтепродуктов не изменилось; при этом в 5 ассоциациях произошла частичная деградация сообществ.

Анализ местных энтомокомплексов демонстрирует слабое нарастание увеличения видового разнообразия от загрязненного биотопа к фону. В данном аспекте влияние оказывает не столько техногенный фактор, сколько приуроченность особей различных видов к свойственным им биотопам.

Общая численность местных млекопитающих незначительно снизилась. У млекопитающих, отловленных в обследованном районе, не выявлено патологий, ассоциируемых с разливом нефтепродуктов; при этом отсутствие особей с патологиями может поясняться их изъятием хищными птицами. В целом, высокая плодовитость позволит млекопитающим района в течение одного благоприятного весенне-летнего сезона (при условии сбора большей части ГСМ) восстановить численность до оптимума, определяемого емкостью кормовых угодий долин рек.

Оценка фоновое состояние орнитофауны затруднена, что усложняет оценку воздействия разлива нефтепродуктов на популяции птиц. В то же время, большинство видов мигрирующих птиц, сезонно использующих район для размножения, в принципе не могло подвергнуться неблагоприятным воздействиям аварии.

СПИСОК ИНСТИТУТОВ И ОРГАНИЗАЦИЙ СО РАН, УЧАСТНИКОВ БОЛЬШОЙ НОРИЛЬСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

- ИБФ – Институт биофизики СО РАН (Красноярск)
- ИВМиМГФ – Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск)
- ИВЭП – Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул)
- ИГМ – Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск)
- ИЛ – Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН (Красноярск)
- ИМЗ – Институт мерзлотоведения ИМ. П.И. Мельникова СО РАН (Якутск)
- ИНГГ – Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск)
- ИПА – Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск)
- ИПНГ – Институт проблем нефти и газа СО РАН (Якутск)
- ИХиХТ – Институт химии и химической технологии СО РАН (Красноярск)
- ИХН – Институт химии нефти СО РАН (Томск)
- ИЭиОПП – Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск)
- НИИ СХиЭА – НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики (Норильск)
- ЦСБС – Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (Новосибирск)

