



# Краткий отчет по итогам Большой норильской экспедиции



## Характеристика объекта исследований

Норильский промышленный район расположен севернее полярного круга, в южной части Таймырского полуострова.

Климат субарктический, резко континентальный, 2/3 года среднемесячные температуры воздуха отрицательные, безморозные только июнь, июль и август.

Период устойчивых морозов длится около 280 дней в году, при этом отмечается более 130 дней с метелями. Особенность зимы - сочетание низких температур и сильного шквального ветра (мороз до  $-53^{\circ}\text{C}$  и ветер до 24 м/с). Норильск входит в пятёрку самых ветреных населённых пунктов планеты.

Годовой ход абсолютных температур –  $97^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура воздуха составляет минус  $9,6^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры воздуха составляет минус  $53^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум  $32^{\circ}\text{C}$ .

Полярный день длится с 20 мая по 24 июля, полярная ночь – с 30 ноября по 13 января.

Геофизика и геохронология	<b>49</b>
Многолетнемерзлые грунты	<b>51</b>
Гидробиология	<b>53</b>
Поверхностные воды	<b>55</b>
Почва и растительный покров	<b>56</b>
Донные отложения	<b>58</b>
Биологическое и зоологическое многообразие	<b>59</b>

# Задачи экспедиции

## 1. Поверхностные воды

- Гидробиологические и гидрохимические исследования

Сбор данных, характеризующих состояние гидробиоценоза ручей Безымянный, реки Дальдыкан, Амбарная, Пясино и озеро Пясино, изучение кормовой базы рыб, оценка численности и биомассы планктона и бентоса, определение размера вреда водным биоресурсам.

- Гидрохимические исследования

Определение кислотности, минерализации, концентрации основных катионов, анионов, микроэлементов, растворенных органических веществ. Сравнение значений нормируемых показателей с предельно-допустимыми.

## 2. Почва и растительный покров

- Биологические и базовые исследования

Определить характер растительного покрова; составить геоботанические описания преобладающих растительных сообществ и списки видов сосудистых растений; выполнить картирование территории, дать описание и диагностику почв на постоянных пробных площадках, произвести отбор проб растений и почв для химанализа и микробиологических исследований.

- Геохимические исследования почв и донных отложений

Получить данные об уровне загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами; о содержании и составе микроэлементов и тяжелых металлов в пробах поверхностных вод; о текущем геохимическом состоянии береговых почв и донных отложений, пострадавших от инцидента на ТЭЦ-3 г. Норильска.

## 3. Донные отложения

- Биологические исследования

Оценить внешние условия развития гидробионтов на основе гидрофизических показателей, измеряемых зондирующей аппаратурой (температура, pH, содержание кислорода, электропроводность и др.). Определить гидробиологические показатели: количественные и качественные характеристики бактериопланктона, фитопланктона, зоопланктона, фитоперифитона, зообентоса. Оценка влияния загрязнения нефтепродуктами на комплекс гидробионтов. Оценка качества воды по индикаторам биоты.

- Геохимические и геохронологические исследования

Провести отбор проб почв для построения карт-схем распределения химических элементов на исследуемой площади.

## 4. Многолетнемерзлые грунты

- Геофизические исследования

Определение глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород в ненарушенных условиях и в пределах объектов инфраструктуры; оконтуривание техногенных таликов в пределах объектов инфраструктуры; выявление путей фильтрации загрязнённых вод и нефтепродуктов от объектов инфраструктуры в естественные водотоки; определение мощности рыхлых отложений в пределах объектов инфраструктуры; выявление льдистых грунтов и льдов на прилегающей территории.

- Геохимические исследования

Выявление данных об уровне загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами; о содержании и составе микроэлементов и тяжелых металлов в пробах поверхностных вод; о текущем геохимическом состоянии береговых почв и донных отложений, пострадавших от инцидента на ТЭЦ-3 г. Норильска.

- Геокриологические исследования

Установление современного состояния криолитозоны и тенденций её изменения в районе Норильска. Определение распространения и особенностей залегания многолетнемерзлых толщ; определение границы распространения, степень интенсивности развития криогенных процессов и образований. Характеристика степени пораженности поверхности этими процессами и образованиями. Оценка глубины и динамики сезонного оттаивания и промерзания грунтов в зависимости от поверхностных условий. Расчет нормативной глубины сезонного оттаивания и промерзания. Определение распространения, характера проявления, генезиса таликов. Прогноз изменения геокриологических условий.

## 5. Биологическое и зоологическое многообразие

- Ботанические исследования

Выявление фитоценотического разнообразия на загрязнённых нефтепродуктами ландшафтов. Определение фиторазнообразия аналогичных (фоновых) не загрязнённых ландшафтов. Оценка ущерба, нанесенного состоянию растительного мира в результате инцидента на техногенную и фоновую поверхность.

- Зоологические исследования

Выявление зоологического разнообразия на загрязнённых нефтепродуктами ландшафтов. Определение зооразнообразия (местообитаний, видовое, популяционное, патологическое) аналогичных (фоновых) до и после загрязнения техногенных ландшафтов. Оценка ущерба нанесенного животному населению (местообитаниям и их экологическим свойствам).

# Список институтов и организаций СО РАН — участников Большой Норильской экспедиции



Институт биофизики СО РАН  
(Красноярск)



Институт водных и экологиче-  
ских проблем СО РАН  
(Барнаул)



Институт леса  
им. В.Н. Сукачёва СО РАН  
(Красноярск)



Институт почвоведения  
и агрохимии СО РАН  
(Новосибирск)



НИИ сельского хозяйства  
и экологии Арктики (Но-  
рильск)



Центральный сибирский  
ботанический сад СО РАН  
(Новосибирск)



Институт геологии  
и минералогии  
им. В.С. Соболева  
СО РАН (Новосибирск)



Институт мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН  
(Якутск)



Институт нефтегазовой  
геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука  
СО РАН (Новосибирск)



Институт проблем нефти  
и газа СО РАН (Якутск)



Институт химии  
и химической технологии  
СО РАН (Красноярск)



Институт химии нефти  
СО РАН (Томск)



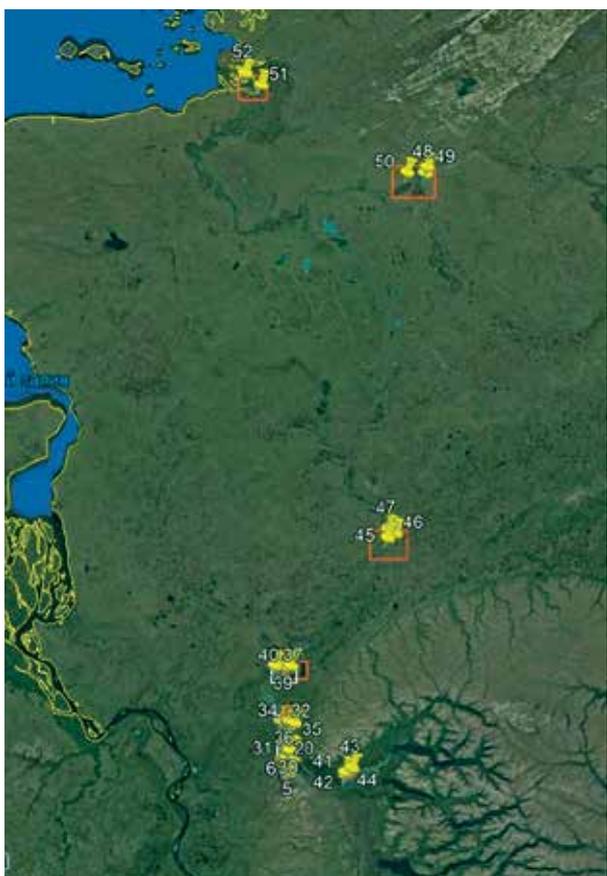
Институт экономики  
и организации промышлен-  
ного производства  
СО РАН (Новосибирск)



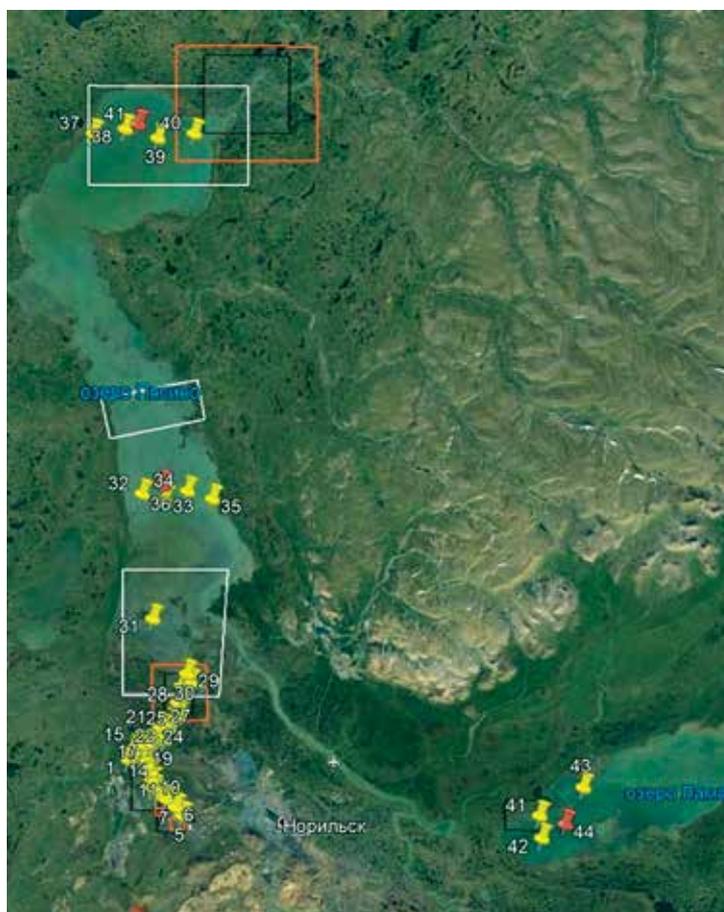
Институт вычислительной  
математики и математиче-  
ской геофизики СО РАН  
(Новосибирск)

# Карта пробоотборов

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)

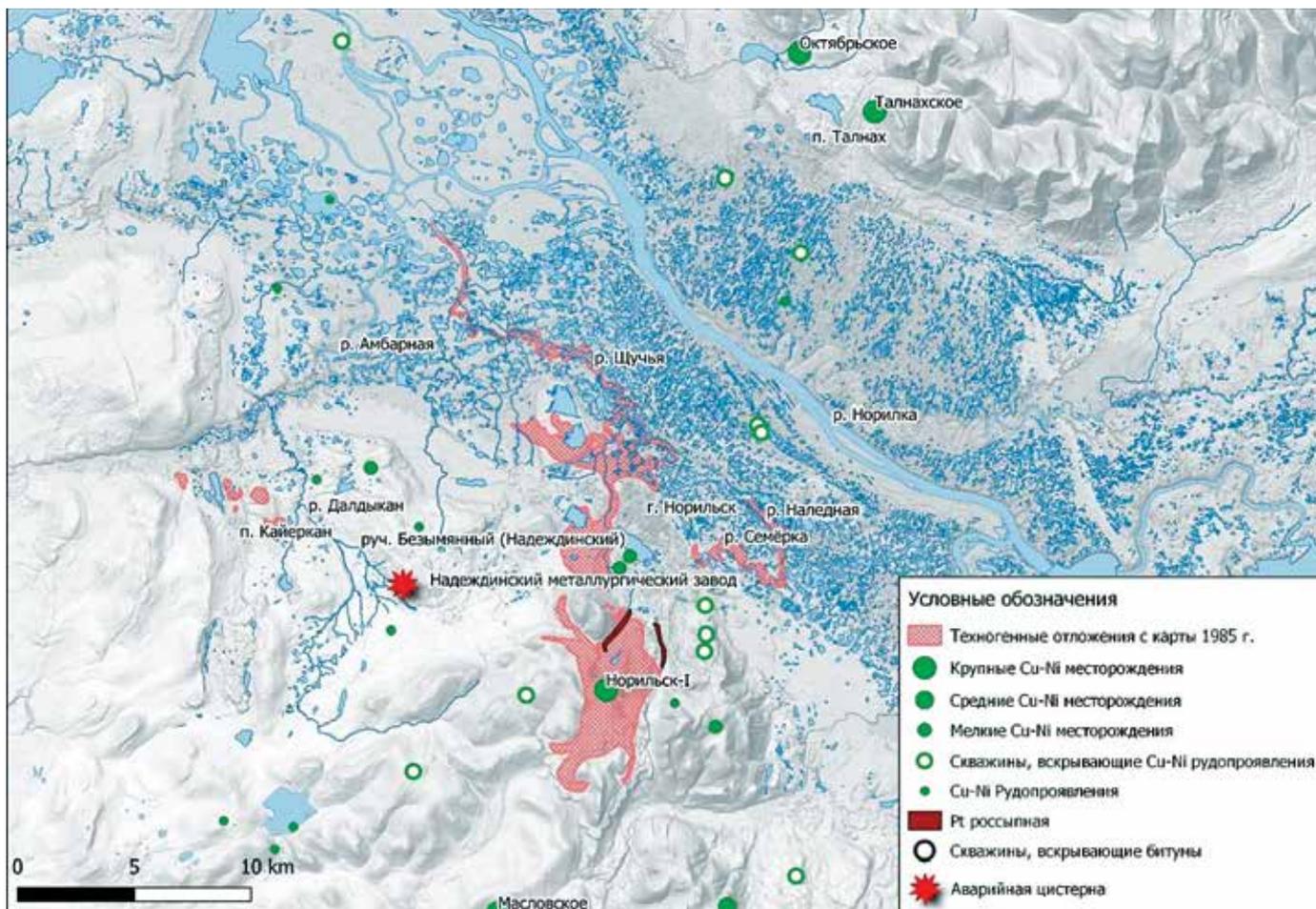


Общая карта отбора проб поверхностных вод



Карта отбора проб поверхностных вод в районе оз. Пясино:  
А. Гидрохимические и микробиологические исследования (желтые метки 1-54 на рис 1-3 – ИНГТ, ИПНГ)  
В. гидробиологические исследования – (белые прямоугольные зоны на рис 1 – ИБФ)  
С. геохимические и геохронологические исследования донных осадков и почв – (желтые метки 31-44 и красные метки на рис 1-3. – ИГМ, ИПНГ (Микробиология))  
D. исследования почв, растительного покрова и биологического разнообразия – (красные прямоугольные зоны на рис 1-3 – НИИСХиЭА, ЦСБС, ИЛ, ИПНГ (микробиология))  
E. Геофизические и геокриологические исследования – (Синие прямоугольные зоны на рис 1-3 – ИНГТ и ИМЗ).





Расположение техногенных отложений Норильского рудного узла по данным 1985 г

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, накапливавшимся 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.

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 108 и 135 ppm, то есть, в 6 и в 10 раз соответственно.

Согласно анализу результатов дистанционного зондирования и ГИС-моделирования, попадание существенного объема нефтепродуктов, разлившись на поверхности в результате аварии, в Северный Ледовитый Океан, и даже в центральную и северную части оз. Пясино, практически исключен.

В первые дни после аварии это было физически невозможно из-за «пробки» остаточного ледового покрова в районе северной котловины оз. Пясино. В последующие дни невозможно, из-за специфики механизмов поверхностного распределения, в т.ч. под воздействием ветровой нагрузки.

Вместе с тем, не исключается перенос части нефтепродуктов, в растворенном виде. Установлены повышенные концентрации в отложениях реки Амбарной, и только фоновые концентрации в отложениях озера Пясино равные таковым в отложениях озера Мелкое.



## Направление «Многолетне-мерзлые грунты»

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

Проведены натурные маршрутные наблюдения на территории ХАДТ и прилегающих участках.

Геофизические работы выполнены на площадке хранилища аварийного дизельного топлива (ХАДТ) ТЭЦ-3 в районе резервуаров №2-5 и за территорией ХАДТ на запад в долине временного сезонного водотока до его впадения в р. Далдыкан удалённого от ХАДТ на расстоянии около 600 м.

На площади исследований выполнен комплекс геофизических методов для определения в плане и разрезе положения границ мерзлых и немёрзлых пород – электроразведка методом сопротивлений в модификации электротомографии и георадиолокация.

Общий объём измерений электротомографии составил 4885 погонных метров. В результате были получены двумерные геоэлектриче-

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, загрязнённых нефтепродуктами.



ские 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. Объем георадиолокационного зондирования составил 4346 погонных метров

При выделении каналов фильтрации грунтовых вод выявлена линейная аномалия (рис.1). Предполагается, что источником подземных вод является озеро, расположенное в 200 м севернее бака №5. Вполне вероятно, что подземный дренаж стал причиной растепления ММП в основании бака № 5 ХАДТ, что привело к осадкам свайного фундамента.

Геотермические наблюдения в скважинах проводилось в соответствии с традиционными методами, применяемыми в геокриологии. В каждой скважине замеры температуры горных пород производились гирляндой температурных датчиков.

Площадка хранилища, несмотря на небольшие размеры, приблизительно 500 на 160 м, характеризуется очень разнообразными температурами грунтов в слое годовых теплооборотов. Самые низкие температуры, минус 4,2°С (рис. 16), были зафиксированы возле 2 резервуара в скважине № 18, пройденной 3.07.2020 до глубины 9,0 м. Область с низкими температурами захватывает основание 2 и 3 резервуаров.

В скважинах расположенных возле 4 резервуара наблюдаются более высокие температуры

Самые высокие в надмерзлотном талике, расположенном в западном углу площадки не далеко от 5 резервуара.



## Направление «Гидробиология»

Экспедиционные выходы к точкам гидрофизического, гидрохимического и гидробиологического мониторинга осуществлялись силами сводного отряда, сформированного из сотрудников ИБФ, ИВЭП, ИПНГ, ИХХТ. Всего было отобрано 19 проб поверхностной воды.

Отбор проб воды осуществлялся в августе 2020 г. согласно ГОСТу 53415-2009 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа». 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 проводили 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).

Пробы воды для оценки видового состава и количественных показателей бактерио- и фитопланктона в реках и прибрежных участках озера Пясино отбирали пластиковым ведром из поверхностного горизонта. На глубоководных участках озера отбирали 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 отбирали в трех повторностях: по 10

мл воды помещали в стерильные пенициллиновые флаконы и добавляли по 0,5 мл формальдегида. Всего было отобрано 39 проб бактериопланктона.

Для отбора проб фитоперифитона на дно помещали стальную рамку 10×10 см из которой изымали гальку. 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 отбирали 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, отбирали 4-11 августа 2020 г. Отбор производили с берега или с судна из приповерхностного слоя воды. Водоросли концентрировали вакуумной фильтрацией на мембранные фильтры «Владипор» марки МФАС-ОС-3 с диаметром пор 0,8 мкм. Фотосинтетические пигменты фитопланктона анализировали спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте.

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).

Констатирована высокая способность микробиологической системы к самоочищению вод от органического загрязнения. Также установлено, что микрофлора исследуемых вод является адаптированной к нефтепродуктам и способна участвовать в их деструкции, однако в водах р. Амбарной из-за высоких содержаний нефтепродуктов наблюдается снижение не только численности нефтеокисляющих бактерий, но и их способности к окислению летучих соединений нефти, бензола, толуола и нафталина.

В случае со сбросом промышленных вод, температура водоемов рыбохозяйственного назначения не должна повышаться более чем на 5°C относительно фоновых значений. Водородный показатель должен находиться в пределах 6.5 – 8.5. Кислород не должен падать ниже 6 мг/л в летний период. Практически все измеренные параметры укладываются в допустимые нормы, кроме температуры ручья Безымянный. Однако данный ручей не имеет рыбохозяйственного значения.

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 Пясино воды были чистыми.

Значение индекса сапробности озера Пясино, 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» (таблица 4 и 7). Тем не менее, следует отметить уменьшение величины индекса в нижней части озера (ст. 9, 10), что может свидетельствовать о снижении органического загрязнения.

Таким образом, согласно нашим данным, непосредственно в местах ниже аварийного разлива нефтепродуктов, в р. Далдыкан и р. 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, в 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 оз. Пясино и р. Пясино.

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 [Комплексная ..., 1993] 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 объектов 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 Пясино были характерны для нормально функционирующего пресноводного планктона олиготрофных вод. Такой же уровень и состав пигментов отмечен в фоновой реке Норильская.

Средневзвешенный по численности индикаторных видов зоопланктона индекс сапробности Пантле и Букка, основанный на индивидуальной сапробности видов отнес две нижние станции (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 (качество воды улучшалось) как раз от участков рек, подвергнутых разливу топлива, до озерных, а именно ранжированный ряд станций в порядке убывания индекса в соответствии с таблицей 10 следующей: 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.



## Направление «Поверхностные воды»

На изученных водных объектах с 04 по 11 августа 2020 г. Институтом водных и экологических проблем СО РАН обследовано 12 участков (рис. 1.1). Общее содержание нефтепродуктов в изученных водных объектах крайне неоднородно.

Содержание нефтепродуктов в воде наиболее загрязненных участков водотоков (ручей Безымянный, р. Далдыкан, р. Амбарная) значительно выше фоновых (до 0,41 мг/дм<sup>3</sup>).

В озере Пясино концентрации нефтепродуктов находятся в пределах фоновых значений (ниже пределов обнаружения используемых методов химического анализа) и ниже ПДК<sub>рх</sub>, что может свидетельствовать об эффективности использованных боновых заграждений для защиты от распространения нефтепродуктов.

Установлено, что только в районе впадения р. Далдыкан в р. Амбарная и в пойме р. Амбарная присутствуют характерные для нефтепродуктов алканы. В р. Амбарная доля алканов С15-С20 весьма незначительна, основными являются С27-С29, а в пойме р. Амбарная в составе алканов отсутствуют гомологи с числом атомов углерода меньше С21. Это свидетельствует о быстром испарении относительно легких фракций углеводородов (до С15-С21) в водной среде по мере удаления от источника их поступления.

В водах оз. Пясино вблизи правого н-алканы, идентифицированные в количестве 131,4 мкг/дм<sup>3</sup>, представлены набором С19-С34, причем основная масса (С22-С34) характеризуется преобладанием «нечетных» гомологов. Это, а также наличие среди углеводородов ненасыщенных структур гопенов и олеаненов, свидетельствует о преимущественном вкладе в состав водного органического вещества соединений, продуцированных цветковыми водными, или наземными растениями.

Севернее, в районе левого берега озера Пясино, в воде присутствует малое количество углеводородов, представленных н-алканами С15-С32 (1,8 мкг/дм<sup>3</sup>) с незначительным преобладанием «нечетных» в области С22-С32. На севере озера вблизи истока р. Пясино содержание в воде н-алканов еще ниже (0,5 мкг/дм<sup>3</sup>). Характеристические соединения, на основании которых могли быть сделаны выводы об источнике нефтяных (С15-С20) компонентов, не обнаружены, возможно, вследствие очень низкого содержания в ней углеводородов.

В озере Пясино концентрации фенолов находятся в пределах фоновых значений (ниже пределов обнаружения используемых методов химического анализа), т.е. ниже ПДК<sub>рх</sub>.



## Направление «Почва и растительный покров»

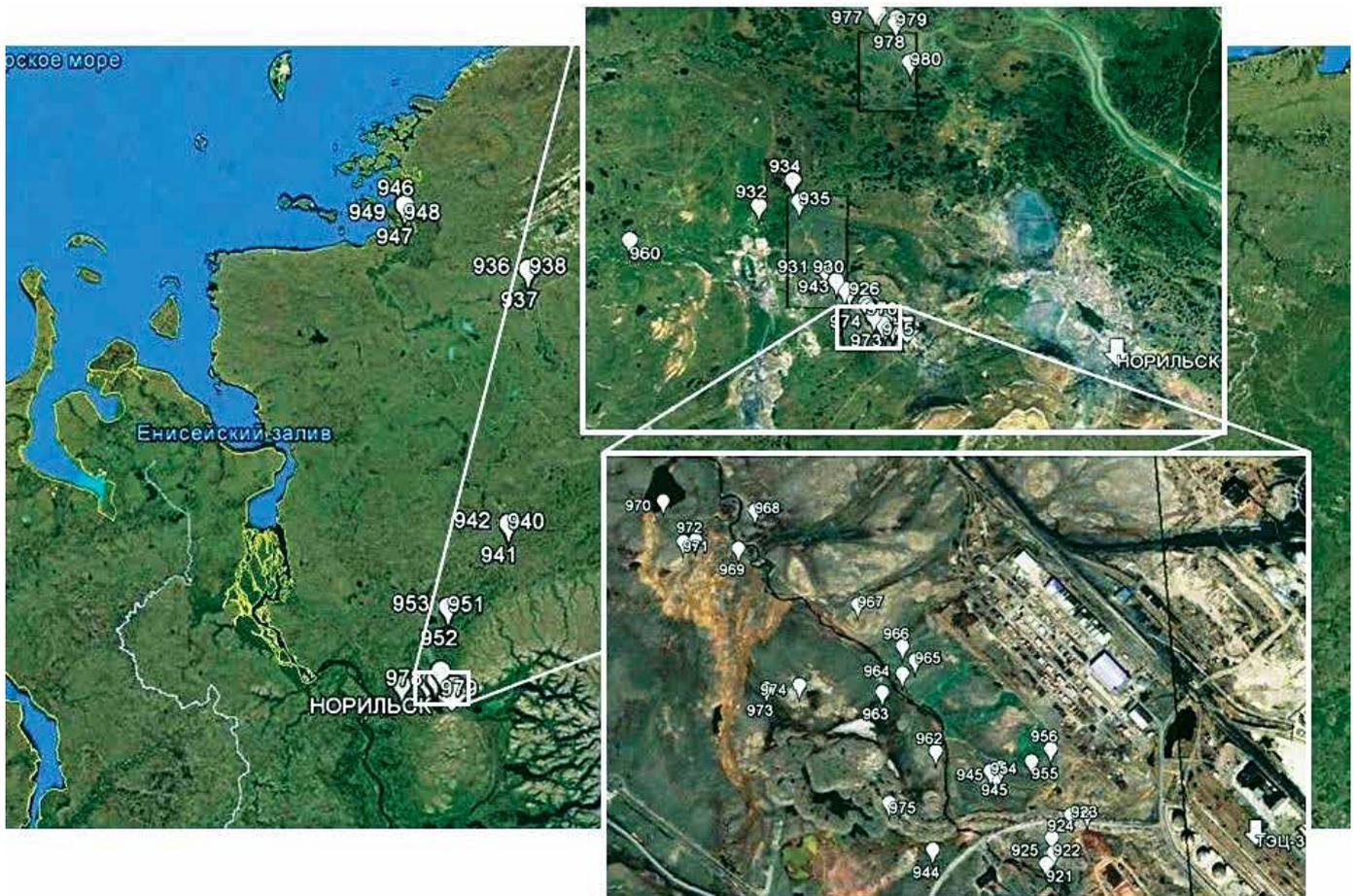
В период выполнения полевых работ Большой Норильской экспедиции с 27 июля по 21 августа 2020 года сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск) обследованы наземные пойменные экосистемы Норильского промышленного района. Были изучены и оценены изменения биоразнообразия и состояния почвенного покрова пойм ручья Безымянного, рек Далдыкан, Амбарная, Пясино, Дудыпта и Тарей, а также южного и северного берегов озера Пясино. Специалисты ИПА СО РАН проанализировали почвенные и растительные пробы от места аварии до Карского моря.

В ходе полевых исследований на техногенно-загрязнённых и условно фоновых территориях было выбрано более 60 ключевых участков с точками закладки почвенных разрезов и прикопок, отбора почвенных и растительных проб (рис. 1). Всего было заложено и описано 26 почвенных разрезов и 58 прикопок, отобрано 66 растительных и 62 почвенных проб для лабораторных исследований.

Определение и оценка общего содержания нефтепродуктов в изученных пойменных почвах не выявило экологически опасно высокого их содержания (табл. 14), даже вблизи от места аварии (точки 1-9).

Наибольшее содержание нефтепродуктов было обнаружено в точках Дельта 2-7, Истоки Пясины 1 (рис. 51). При этом максимальные концентрации нефтепродуктов нередко обнаруживались не в поверхностном, а в лежащем под ним почвенном слое. Нигде не было зафиксировано загрязнение слоев почв, глубже 30-40 см.

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



Карта-схема расположения ключевых участков с точками взятия проб почв и растений Большой Норильской экспедиции.

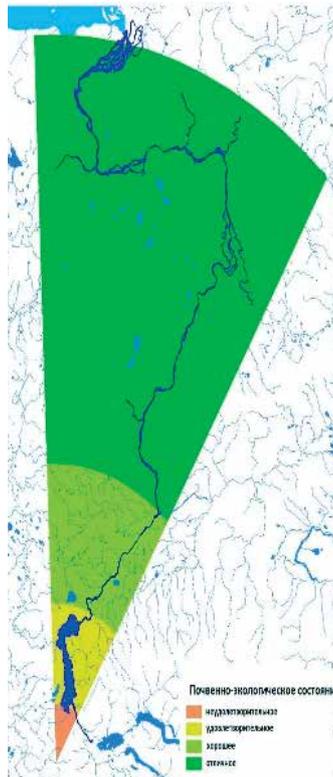
По уровню загрязнения и трансформации наземных экосистем, предварительно, можно провести зонирование и разделить обследованную территорию на 4 зоны:

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 Таря - хорошее;

4. Территории не подверженные техногенному воздействию Норильского промышленного района от Таря до Карского моря - отличное почвенно-экологическое состояние (рис. 2).



Почвенно-экологическое состояние территории исследования БНЭ.



## Направление «Донные отложения»

Донные отложения для определения видового состава донных бактерий молекулярно-генетическими методами отбирали стерильным пластиковым шприцем с отрезанным игольным концом в трех разных точках каждого участка и объединяли в одну пробу. Грунт помещали в пластиковые зип-пакеты и хранили в морозильной камере при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ . Всего было отобрано 13 проб грунта.

Пробы зообентоса в реках и прибрежных участках озера отбирали с глубины 0,5–1,5 м круговым скребком Дулькейта (площадь захвата 0,09 м<sup>2</sup>), а в глубоководной части озера (участки №8 и №10) - с глубины 3 – 6 м дночерпателем Петерсена (площадь захвата 0,025 м<sup>2</sup>).

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

В исследованных водных объектах обнаружено 36 видов и таксонов более высокого ранга (так называемые низшие определяемые таксоны макробеспозвоночных, широко распространенных в Палеарктике и Голарктике).

Хирономиды обнаружены во всех районах исследования, но массового развития они достигали в фоновом районе р. Далдыкан (ст. 2), и в р. Пясины (ст. 11). Все личинки являются индикаторами «слабо загрязненной» воды.

На остальных водных объектах хирономиды 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 псаммопелофилы *Psectrocladius delatoris* (индикаторы слабо загрязненной воды).

В озере Пясино в иловых отложениях в районе мыса Тонкий хирономиды представлены единично оксифионтным видом *Monodiamesa bathyphila*, в районе мыса Голый совместно с этим видом зарегистрированы *Paracladopelma camptolabilis*, *Procladius*

*ferrugineus*, *Polypedilum scalaenum*. Все виды хирономид, зарегистрированные в озере, являются индикаторами слабо загрязненной воды.

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).

Представители трех отрядов водных беспозвоночных: Ephemeroptera (поденки), Plecoptera (веснянки), Trichoptera (ручейники) широко распространены в разнотипных водных экосистемах, в том числе мелких быстротечных водотоках с низкими температурами воды. Эти гетеротопные животные высоко чувствительны к различного рода загрязнениям и антропогенной нагрузке, что делает их удовлетворительными индикаторами в системах мониторинга текущих вод. Личинки ручейников и веснянок отмечены единично в р. Пясины (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 (Harrel, 1985; Poulton et al., 1997; Лоскутова и др., 2015; Лаптева и др., 2019), их наличие в р. Пясины свидетельствует об отсутствии значимого нефтяного загрязнения в данной реке.

Наличие и доминирование на всех станциях, кроме р. Безымянный, Далдыкан и Амбарная личинок ручейников, хирономид, веснянок а также амфипод, первыми исчезающих при аварийном нефтяном загрязнении, свидетельствует об отсутствии значимого нефтяного загрязнения этих водных экосистем.

Напротив, в р. Безымянный, Далдыкан и Амбарная доминирование олигохет, в полном соответствии с обнаруженными во всем мире последствиями нефтяных разливов (Harrel, 1985; Poulton et al., 1997; Лоскутова и др., 2015; Лаптева и др., 2019), свидетельствует о влиянии аварии на бентосные сообщества данных рек.



## Направление «Биологическое и зоологическое многообразие»

Проведены полевые исследования в местах разлива 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 районах: ручьев Безымянный и Далдыкан, реке Амбарная, истоках реки Пясины, слияния рек Пясины и Дудыпта (п. Кресты), Пясины и Тарей (п. Тарей), устье р. Пясины (Карское море).

Определение степени деградации растительных сообществ, выделение стадий нарушенности.

Стадии нарушенности не являются долгопроизводными (сформировавшимися в результате многолетнего влияния углеводородов). Они возникли одновременно из-за воздействия разлива 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 низовий р. Амбарная наибольшее воздействие нефтепродуктов было оказано на растения и растительность 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 - разреженные ивняки осоково-злаковые 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 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 р. Далдыкан более мелкий и к тому же расположен около топливного резервуара ТЭЦ-3. Все это способствовало попаданию в зону контакта с соляной водой большого числа растительных сообществ.

Фиторазнообразие нарушенной растительности (все нарушенные сообщества)

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 - 1,1 раза).

В районах пп. Кресты и устье р. Пясины наблюдается увеличение фиторазнообразия в сравнении с фоновыми сообществами.

Небольшое снижение разнообразия мы не связываем с влиянием нефтепродуктов, так как последние визуально в этих районах не выявлены.

В качестве реакции на загрязнение должны быть погибшие виды растений, чего не наблюдается. Скорее всего, это связано с влиянием естественных факторов (особенностями грунтов, высотой снежного покрова, длительностью половодий и др.).

### **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 ручье Далдыкан эти показатели равновелики (по 2 вида на фоновых и нарушенных сообществах и 5% и 6% проективного покрытия соответственно). Это возможно вызвано тем, что когда шло перемещение ДТ по ручью Далдыкан мхи, предпочитающие низкие участки поймы с хорошим увлажнением, большей частью оказывались на дне водного потока к тому времени полноводного ручья из за весеннего половодья. Слой солянки находился на поверхности воды и слабо взаимодействовал с мхами. Что и спасло мхи от деградации

Максимальное количество мхов в исследованных речных долинах отмечается в истоках р. Пясины, а показатель на 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 (бета-разнообразия).**

В целом разнообразие растительных сообществ в результате разлива нефтепродуктов не изменилось. Но 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 погибших растений в результате прямого контакта с углеводородами.

### **Млекопитающие.**

Если сравнивать видовой, половой и возрастной состав ММ по показателям 2020 года с данными 2017 года можно отметить, что общая численность ММ в 2020 году незначительно снижена (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 насекомых. Колебания численности зеленоядных серых полевок в учетах напрямую зависят от типа биотопа, при увлажнении численность красной полевки снижается и растет численность зеленоядных полевок-экономок.

Фактическое биоразнообразие всего исследуемого региона условно низкое.

Биоразнообразие вдоль русла Амбарной представлено одним доминирующим видом – полевкой-экономкой. 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 техногенных воздействий Норникеля, а также последствий разлива топлива мы не обнаружили.

В ходе осмотра внутренних органов серых полевок отловленных в зоне разлива дизельного топлива 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 содержала покраснений, кровоизлияний или посторонних предметов/веществ, отличных от естественного секрета пищеварительного тракта. Печень и прочие железы так же были физиологически нормальные, определение стресс-факторов по состоянию надпочечников затруднялось тем, что период отбора проб совпал с периодом беременности большей части отловленных особей.

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.

### **Птицы**

Учтено 11 видов птиц, при этом сложно оценить фоновое состояние орнитофауны. Потенциально во время пролета и гнездования отмечалось около 120 видов птиц (Кокорев, 2004).

Обращает внимание, что в пойме Амбарной (озерно-болотный ландшафт) по береговой линии встречались только одиночные особи белой трясогузки, хотя в это время они должны держатся семейными группами.

Поведенческих отличий для других видов (кряквы, 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.