

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Васильчук Ю.К. Норильская промышленная эколого-геологическая система, ее геокриологические особенности и техногенное воздействие на нее // Арктика и Антарктика. 2025. № 4. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.4.75042  
EDN: RSIPOK URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=75042](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75042)

## Норильская промышленная эколого-геологическая система, ее геокриологические особенности и техногенное воздействие на нее

Васильчук Юрий Кириллович

ORCID: 0000-0001-5847-5568

доктор геолого-минералогических наук

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

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



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

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

### DOI:

10.7256/2453-8922.2025.4.75042

### EDN:

RSIPOK

### Дата направления статьи в редакцию:

01-07-2025

### Дата публикации:

19-08-2025

**Аннотация:** Норильская промышленная эколого-геологическая система (ЭГС), это одна из самых крупных северных промышленных ЭГС в мире, а также – одна из самых экологически проблемных. Масштабной экологической катастрофой был разлив дизельного топлива в Норильске – произошедший 29 мая 2020 г. в районе Кайеркан города Норильска. Авария привела к утечке около 21 тыс. тонн дизельного топлива. Топливо попало в близлежащие реки Амбарная и Далдыкан, а также озеро Пясино. Эта катастрофа стала одной из крупнейших в истории Арктики: топливо попало в почву и близлежащие водоёмы, включая реки Амбарную и Далдыкан, а также озеро Пясино, которое связано с Карским морем. Причиной аварии стало проседание резервуара из-за

деградации многолетнемерзлых пород, усугублённое отсутствием своевременного ремонта. Разлив привёл к массовому загрязнению почвы и водных экосистем, уничтожению популяций рыб и накоплению тяжёлых металлов в их печени. «Норникель» – крупнейший промышленный загрязнитель Арктики. Ежегодно предприятия «Норникеля» выбрасывают в атмосферу около 1,7 млн тонн вредных веществ, а, общий объём выбросов во всей арктической зоне Канады в 2021 году был в 57 раз меньше, чем годовые выбросы «Норникеля». В 2022 г. на Норильск приходилось 10,5 % всех промышленных выбросов в России. Норильск расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Зимой температура воздуха может опускаться до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Изменение климата и рост среднегодовых температур в Арктике приводят к повышению температуры и, даже к частичной деградации многолетнемерзлых пород, что угрожает городской инфраструктуре. В течение ближайших десятилетий значительная часть зданий в Норильске пострадает из-за проседания фундаментов. К 2021 г. более 40 % зданий в Норильске уже подверглись деформации. Техногенные сезонные инъекционные бугры пучения, могут формироваться близ г. Норильска из-за больших утечек воды. Обобщены данные, характеризующие особенности техноэдафотопа, техномикробоценоза, технофитоценоза, технозооценоза Норильской промышленной эколого-геологической системы и ее техногенной трансформации.

#### **Ключевые слова:**

лесотундра, многолетнемерзлые породы, пальза, сезонные бугры пучения, Норильская эколого-геологическая система, техноэдафотоп, техномикробоценоз, технофитоценоз, технозооценоз, Средняя Сибирь

Исследование выполнено по теме научно-исследовательской работы «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» (№ ЦИТИС 121042200089-3), частично поддержано проектом Российского научного фонда (грант № 23-17-00082) «Палеоциклы углерода-азота в экосистемах бугристых и полигональных торфяников, едомы и в пластовых льдах на севере России» (геокриологические работы).

#### **Введение**

Среди промышленных эколого-геологических систем (ЭГС) в криолитозоне России особо выделяется Норильская промышленная ЭГС, поскольку, во-первых, это одна из самых крупных северных промышленных ЭГС в мире, а, во-вторых, это одна из самых экологически проблемных промышленных ЭГС.

Норильск расположен на севере Красноярского края к югу от Таймырского полуострова, примерно в 90 км к востоку от Енисея и в 300 км к северу от Северного полярного круга. Население Норильска – около 175 тыс. чел – это самый северный город мира с численностью населения более 150 тысяч человек.

Помимо атмосферных выбросов в атмосферу (рис. 1), загрязнение усиливают отвалы и шлам, выделяющие загрязняющие вещества при горении дегазации и выщелачивании.



Рис. 1. Выбросы в атмосферу предприятий Норильска

Изношенная инфраструктура предприятий «Норникеля» приводит к утечкам, аварийным выбросам и неэффективной очистке отходов, что усугубляет накопленный экологический ущерб. Выбросы «Норникеля» вызывают кислотные дожди, что ведёт к накоплению токсичных соединений в почвах и водоёмах, особенно губительно влияя на леса. Вскоре после запуска металлургического производства, в 1930-х годах, зафиксирована массовая гибель растительности, сибирская лиственница – основная порода региона – замедлила рост.

С 1960-х годов деградация лесов ускорилась, особенно после открытия новых рудников. В 1980-х годах почти все деревья в радиусе 69 км к юго-востоку от Норильска погибли. Всего с середины XX века выбросы диоксида серы, меди и никеля уничтожили около 24 000 км<sup>2</sup> бореальных лесов. В начале 2000-х в радиусе около 5 км от Норильска было зафиксировано полное исчезновение деревьев, а почвы даже на расстоянии 10-20 км от него содержали повышенные концентрации меди, никеля и кобальта.

Одной из масштабных экологических катастроф был разлив дизельного топлива в Норильске – произошедший 29 мая 2020 г. в районе Кайеркан города Норильска. Авария на резервуаре № 5 ТЭЦ-3, принадлежащей Норильско-Таймырской энергетической компании (НТЭК) – дочернему предприятию «Норникеля», привела к утечке около 21 тыс. тонн дизельного топлива. Топливо попало в близлежащие реки Амбарная и Далдыкан, а также озеро Пясино, создав угрозу и для экосистемы Северного Ледовитого океана. Разлив нефтепродуктов стал одним из крупнейших в Арктике за всю историю и привёл к значительному экологическому ущербу.

Авария 2020 г. не стала исключением: в 2021 г. на Норильской обогатительной фабрике произошло обрушение конструкций, затопило рудники «Октябрьский» и «Таймырский» в соседнем Талнахе, на нефтебазе в Дудинке обнаружены протечки, а на железной дороге сошли с рельсов 10 вагонов с возгоранием дизельного топлива.

«Норникель» – крупнейший промышленный загрязнитель Арктики. С 2013 г. реализуется программа обновления мощностей стоимостью более 20 млрд долларов, а к 2022 г. планировалось снижение выбросы диоксида серы в Норильском промышленном районе на 75 %. Ключевую роль должен был сыграть – «Серный проект» общей стоимостью более 300 млрд рублей, направленный на улавливание и утилизацию печных и конвертерных газов, а также переработку диоксида серы. В 2016 г. закрытие Никелевого завода позволило снизить выбросы диоксида серы в жилых районах города на 30 %. В

октябре 2023 г. на Надеждинском металлургическом заводе была введена в эксплуатацию первая линия оборудования для утилизации сернистых газов. «Норникель» остаётся крупнейшим эмитентом сернистых газов в мире. Ранее на Медном заводе работала система улавливания выбросов сернистых газов (перерабатывала от 80 % до 95 % диоксида серы в серу), но в 2019 г. «Норникель» отказался от этой технологии, сославшись на риск самовозгорания серы при хранении. Запланированная альтернатива – переработка сернистых газов в серную кислоту и получение в итоге гипса – не была полностью реализован, а наработанный гипс теперь просто складируют в тундре.

С 1960-х здесь добывают медно-никелевые руды, самое крупное месторождение находится в 40 км к северо-востоку от Норильска. Градообразующее предприятие – Заполярный филиал Горнometаллургической компании «Норникель» (в прошлом – «Норильский горно-металлургический комбинат»). Компания производит 35 % мирового палладия, 25 % платины, 20 % никеля, 20 % родия, 10 % кобальта. «Норникелем» производится 96 % никеля, 95 % кобальта, 55 % меди, выпускаемых в России.

Выбросы предприятий «Норникеля», включая Надеждинский металлургический завод, Никелевый завод, Медный завод, МЦ-1, Норильскую и Талнахскую обогатительные фабрики, делают Норильск одним из самых загрязнённых городов России. В 2010 г. он был признан самым экологически неблагополучным в стране, а в 2013 г. вошёл в десятку наиболее загрязнённых мест мира. В 2021 и 2022 гг. Норильск вновь занял первое место в рейтинге самых загрязнённых городов страны; примерно 99 % горожан дышат воздухом с крайне высоким уровнем загрязнения, а 88 % почв содержат токсичные вещества.

Ежегодно предприятия «Норникеля» выбрасывают в атмосферу около 1,7 млн тонн вредных веществ, тогда как в краевом центре Красноярске этот показатель составляет 190 тыс. тонн, а, например, общий объём выбросов во всей арктической зоне Канады в 2021 г. был в 57 раз меньше, чем годовые выбросы «Норникеля». В 2022 г. на Норильск приходилось 10,5 % всех промышленных выбросов в России. Основной загрязнитель – диоксид серы, вызывающий респираторные и сердечно-сосудистые заболевания. В воздух также попадают тяжёлые металлы (никель, медь, кобальт, свинец, селен), а также оксиды азота, фенолы и хлориды.

Целью статьи является определение особенностей Норильской промышленной экологогеологической системы - крупнейшего промышленного загрязнителя Арктики, с акцентом на геокриологические условия и влияние на компоненты экологической системы антропогенной деятельности в связи с эксплуатацией промышленных объектов Норильская ЭГС.

### **Климатические условия**

Климат п-ова Таймыр характеризуется значительной континентальностью с большой годовой амплитудой температуры воздуха и преобладанием зимой антициклонального режима атмосферы с устойчивой низкой температурой воздуха, и небольшим количеством осадков. Особенности атмосферной циркуляции над п-овом Таймыр обусловлены разрывом арктического фронта на две ветви: атлантико-европейскую, четко выраженную в течение всего года, и азиатскую, зимой слабо прослеживающуюся вследствие небольшой разницы в характере соприкосновения воздушных масс. [27,39] Среднегодовая температура воздуха низкая и изменяется от -10 до -15 °C. Амплитуда среднемесячной температуры воздуха на севере региона невелика- 28-30°C, а на его

восточном побережье достигает 40–44°С.

Норильск отличается крайне суровым климатом субарктического типа (по классификации Кёппена – переходный от субарктического к арктическому). Это один из наиболее холодных и ветреных городов мира.

Зима в городе – долгая и холодная (средняя температура января – около  $-27^{\circ}\text{C}$ ), характерной особенностью которой является частое установление морозной погоды в совокупности с сильными ветрами. Период с отрицательной температурой длится около 240 дней в году, при этом отмечается более 50 дней с метелями. Климатическая зима длится с начала октября до конца мая. Снежный покров сохраняется от 7 до 9 месяцев в году. Лето – короткое (середина июля), прохладное (средняя температура июля  $+14,3^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовая температура воздуха в Норильске равна  $-9,6^{\circ}\text{C}$ .

В Норильске нередко наблюдается явление, которое местные жители называют «чёрной пургой». Она характеризуется сильным, шквалистым ветром, как правило, одновременно с сильной метелью. Такое явление может появляться не только зимой, но также поздней осенью и ранней весной.

В пределах Норильского региона сформировались своеобразные промышленные эколого-геологические системы.

Понятие эколого-геологические системы введено В.Т. Трофимовым.<sup>[42]</sup> Эколого-геологическая система представляет собой очень важную часть геосистемы и включает в свой состав биоценоз (микробиоценоз, зооценоз, фитоценоз) и экотоп (литотоп и эдафотоп). Литотоп – составляющая экосистемы, ранее упущенная в экологических описаниях. Его параметрами являются: состав, состояние, строение и рельеф массива горных пород; подземные воды; геофизические поля; современные эндо- и экзогенные процессы.

В.А. Королевым и В.Т. Трофимовым выполнена систематика эколого-геологических систем (ЭГС), включая техно-природные, природно-техногенные, техногенные и антропогенные сухопутные и аквальные эколого-геологических системы.<sup>[36]</sup> К этим категориям В.А. Королев и В.Т. Трофимов относят техно-природные и природно техногенные (в той или иной степени техногенно трансформированные) и антропогенные (искусственно созданные человеком) сухопутные и аквальные экосистемы, представляющие собой совокупность техногенно-трансформированного или созданного человеком литотопа, эдафотопа, биотопа и технических компонентов, составляющих единое целое, а также техногенные (антропогенные) ЭГС. Их систематика построена с учетом особенностей их абиотических и биотических компонентов и, кроме того, учитывает технические (хозяйственные) объекты и степень техногенного изменения природных компонентов.<sup>[36]</sup>

Объект исследования – промышленная ЭГС Норильска, представленная литотопом многолетнемерзлых пород, вмещающие мощные повторно-жильные льды, сегрегационный лед и лед-цемент, осложненная буграми пучения типа пальза. В систематике В.А. Королева и В.Т. Трофимова<sup>[36]</sup> Норильская промышленная ЭГС относится к техно-природным (техногенно трансформированным, т.е. состоящим из загрязненных, как правило, до 50% компонентов). При этом некоторые компоненты ЭГС, например, хвостохранилища, антропогенно созданы и загрязнены отходами более чем на 50%, и, следовательно относятся уже к природно-техногенным или даже природно-антропогенным.

В морфологическом плане эколого-геологическая система представляет собой геологический массив с функционирующей в нем или на его поверхности биотой. Охарактеризуем некоторые общие особенности абиотических и биотических компонентов Норильской промышленной ЭГС.

**Метод исследования.** Использован метод широкого анализа литературных данных, их реферирование и обобщение свойств совокупности техногенно-трансформированного или созданного человеком литотопа, эдафотопа и биотопа.

### **Особенности абиотических компонентов Норильской промышленной ЭГС**

**Особенности литотопа.** Более половины площади Таймыра занимают горы Бырранга, представляющие систему параллельных и кулисообразных цепей складчато-глыбового строения, протянувшихся с юго-запада на северо-восток почти на 1000 км. Горы низкие, высотой до 600– 650 м, с плоскими вершинами и системой нагорных террас шириной – 300–500 м. В центральной наиболее высокой части гор Бырранга, достигающих 1100 м и более, расположен Таймырский горно-ледниковый узел. Суммарная площадь крупных ледников (общим числом более 10) равна примерно 20 км<sup>2</sup>. Также, отмечены свыше 100 мелких ледников, морфологически относящихся к долинным, карово-долинным и каровым.

В структурно-тектоническом отношении горный Таймыр относится к Таймыро-Североземельской складчатой системе, ядро которой составляет жесткий докембрийский массив, располагающийся частично на шельфе Карского моря, частично – на севере п-ова Таймыр. В геологическом строении Таймыра, в основном, принимают участие породы архейского, протерозойского, палеозойского и мезозойского возраста. Сложнодислоцированные породы во впадинах и низменностях перекрыты чехлом четвертичных отложений.[\[39\]](#)

Отложения четвертичной системы представлены средним, верхним и современным отделами. Так, широкое развитие имеют валунники и валунные суглинки и фациально их замещающие пески и гравийно-галечниковые отложения самаровской свиты. Средне-верхнечетвертичные морские и ледово-морские отложения санчуговской и казанцевской свит слагают террасы высотой 120–180 м (глины, супеси, пески с валунами и галькой, галечники); верхнечетвертичные морские казанцевские и каргинские отложения слагают террасы высотой от 30 до 100 м (суглинки, глины, пески и галечники мощностью 10–20 м).

**Особенности геокриологических условий и их техногенной трансформации.** Геокриологические условия в пределах Таймыра определяются крайне суровым климатом и преимущественно горным рельефом. Многолетнемерзлые породы в регионе имеют сплошное распространение, сквозные талики полностью отсутствуют. Несквозные талики небольшой (первые метры – первые десятки метров) мощности существуют на участках углубленных русел основных рек, не промерзающих до дна зимой, и под некоторыми озерами глубиной 3 м и более. Под оз. Таймыр в самом глубоком месте зафиксирован талик до глубины 50–80 м.

Мощность мерзлых толщ в пределах Таймырской инженерно-геологической мегаструктуры, связанная с длительностью и постоянством суровых природных условий в течение плиоцена и четвертичного периода, составляет 600–1000 м.[\[23\]](#) Преобладающие мощности многолетнемёрзлых толщ холмисто-увалистых возвышенностей на западе достигают 900–1100 м, вытянутых низменных равнин между ними – 700–900 м. К востоку

и северу мощность мерзлых толщ увеличивается и в горах Бырранга достигает 1100–1300 м (рис. 2).

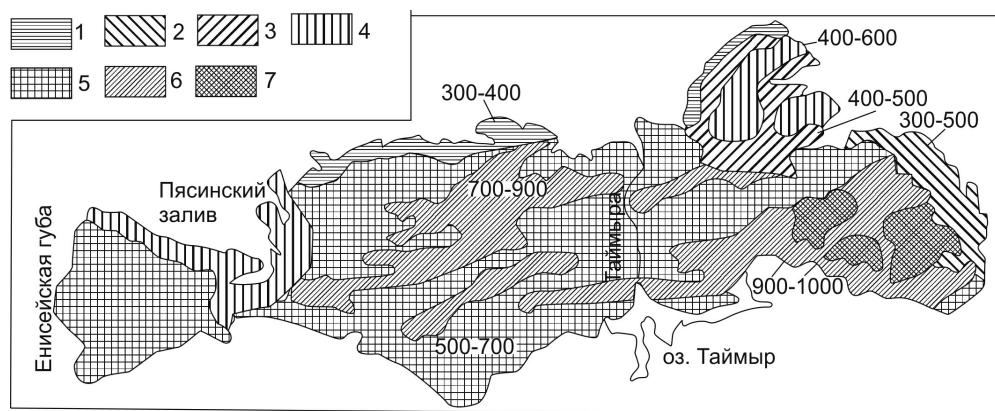


Рис. 2. Мощность (в м) криолитозоны северной части п-ова Таймыр. Из К.А. Кондратьевой и др. [23].

I – 300–400; 2 – 300–500; 3 – 400–500; 4 – 400–600; 5 – 500–700; 6 – 700–900; 7 – 900–1100

Среднегодовая температура пород на севере Таймыра формируются в условиях низких температур воздуха и малого поступления прямой солнечной радиации. Отсутствие древесно-кустарниковой растительности способствует перевеванию снежного покрова и охлаждению оголенных от снега участков, особенно с близким к поверхности залеганием коренных пород на склонах и водоразделах. Вследствие этого среднегодовая температура пород близка к среднегодовой температуре воздуха и отличаются от нее в среднем на 2–4 °C. Наиболее низкую температуру пород (от –13 до –15°C) можно ожидать в наиболее высокой части гор Бырранга – районе развития современных ледников (рис. 3). С уменьшением абсолютной высоты и удалением от центра оледенения повышается и температура горных пород. В подавляющей части региона температура горных пород изменяется от –11 до –13°C.

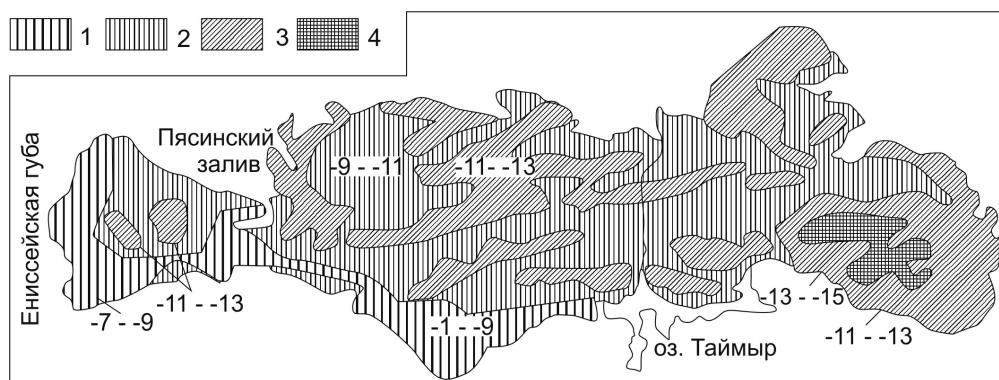


Рис. 3. Среднегодовая температура пород (в °C) северной части п-ова Таймыр. Из К.А. Кондратьевой и др. [23].

1 – от –7 до –9; 2 – от –9 до –11; 3 – от –11 до –13; 4 – от –13 до –15

В Пясино-Фаддеевской депрессии, северной и центральной частях территории Берег Прончищева, в районе Енисейского залива, в устьевой части р. Нижняя Таймыра, в северо-восточной части с мысом Челюскин температура пород в основном – от –9 до –11°C. Более высокую среднегодовую температуру горных пород (от –7 до –9°C) следует ожидать в устье р. Пясина и на побережье Енисейского залива. [23]

Сезонное протаивание пород изучено слабо, хотя в целом отмечается, что минимальная мощность слоя (0,3–0,5 м) наблюдается в горных районах, а максимальная (0,9–1,5 м, в отдельных случаях более) фиксируется в прибрежных районах. В горах Бырранга мощность слоя протаивания в супесях не превышает 0,5–0,6 м, под моховым покровом и в торфяниках – не более 0,3 м, а на открытых участках долин горных рек этот слой достигает 0,6–0,8 м. Протаивание начинается в конце мая – начале июня, достигая максимума в сентябре.

Преобладающая часть площади региона сложена эпигенетическими мерзлыми скальными грунтами.<sup>[43]</sup> В межгорных впадинах, крупных речных долинах, прибрежных низменных районах отмечается многоярусное строение мерзлой толщи. В ее основании фиксируют эпигенетические мерзлые породы складчатого основания. Залегающие на этих породах среднечетвертичные ледниковые отложения несут следы как эпигенетического, так и сингенетического (снизу) промерзания.

Более древних четвертичных отложений, чем среднечетвертичные, в пределах региона пока не обнаружено. Однако вскрытые рядом скважин на сопредельной территории Енисей-Хатангского прогиба грубоскелетные отложения относятся к нижнечетвертичным образованиям.<sup>[11]</sup> Среднегодовая температура воздуха с начала промерзания не поднималась выше –6, –8 °C,<sup>[23]</sup> что предопределило постоянное глубокое промерзание пород на всей территории региона. Плейстоценовые трансгрессии, наиболее активно охватывающие речные долины и низменные прибрежные равнины, значительно усложнили криогенное строение толщи в этих районах. Нахождение следов позднеплейстоценового оледенения, к которым, по мнению В.М. Макеева и Г.Н. Бердовской, следует относить скопления грубообломочного материала на высоких водоразделах и отдельных вершинах высотой до 900 м, указывает на полупокровный (сетчатый) характер этого оледенения. Более позднее сартанское оледенение, по мнению Н. В. Кинд,<sup>[11]</sup> здесь имело ограниченные масштабы. К эпохе похолодания голоценового времени, и вызвавшей формирование в горах ледников на площади, заметно превышающую современную, относится образование конечно-моренных гряд и береговых морен. На приморской равнине и аккумулятивных террасах в позднем плейстоцене и голоцене происходило образование повторно-жильных льдов мощностью 10–20 м и более.<sup>[51]</sup> Выделяется своими масштабами гетероциклический полигонально-жильный комплекс на мысе Саблера, расположенный на северо-западном побережье оз. Таймыр. Ширина мыса достигает 2,5 км, протяженность – около 3,7 км.<sup>[16]</sup> Мыс Саблера представляет собой приозерную аккумулятивную равнину, сложенную фрагментами озерных и озерно-аллювиальных террас с высотами 5–6; 8–10; 12–16 и 25–30 м. над уровнем озера Таймыр.

В береговом уступе 30-метровой террасы изучены<sup>[16,44]</sup> мощные повторно-жильные льды. Большая часть разреза 30-ти метровой террасы (верхние 25 м) представлена слоистой толщей серых и серо-желтых пылеватых супесей со значительным количеством включений растительных остатков. В 70-е–80-е годы Н.В. Кинд и Л.Д. Сулержицким для разреза высокой террасы мыса Саблера получена серия последовательных <sup>14</sup>C-дат, от каргинских до голоценовых в диапазоне от  $30400 \pm 600$  до  $2580 \pm 160$  лет назад.<sup>[11]</sup> А.Ю. Деревягиным, А.Б. Чижовым и др.<sup>[16]</sup> получен примерно такой же спектр радиоуглеродных датировок (рис. 4).

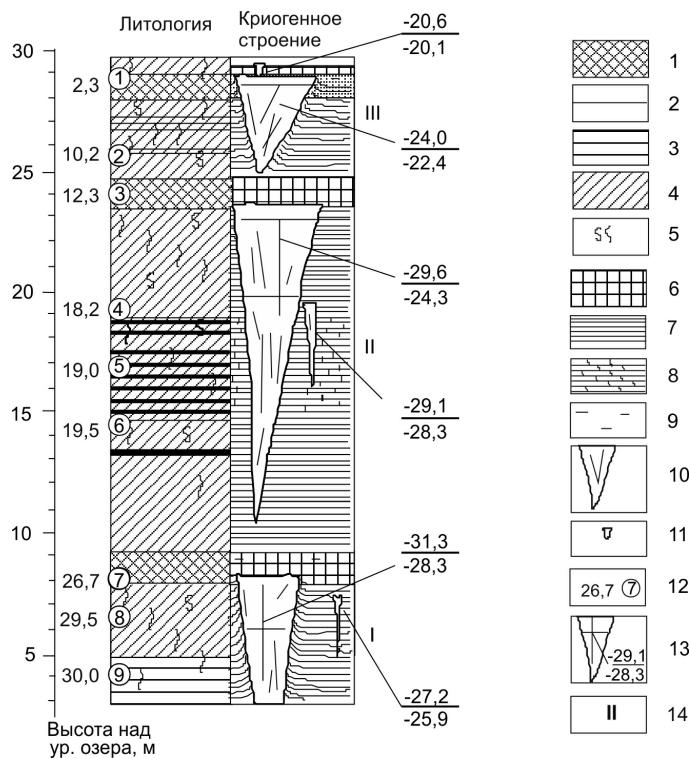


Рис. 4. Схематический разрез 30-метровой террасы мыса Саблера на оз. Таймыр. По А.Ю. Деревягину и др. [16]. Литология: 1 - торф; 2 - прослои торфа; 3 - глина с прослойками песка; 4 - супесь; 5 - растительные остатки. Криогенные строения: 6-9 - криогенные текстуры (6 - массивная, 7 - слоистая, 8 - сетчатая, 9 - ячеистая), 10 - повторно-жильные льды, 11 - современный росток жильных льдов. Прочие обозначения: 12 - точки отбора образцов на радиоуглеродный анализ, их порядковый номер и возраст отложений (тыс. лет); 13 - профили отбора проб льда на изотопный анализ и изотопно-кислородный состав ПЖЛ (значения  $\delta^{18}\text{O}$ , ‰, мин/макс); 14 - стадии осадконакопления и формирования ПЖЛ: I - каргинская, II - сартанская, III - голоценовая.

Мощные сингенетические повторно-жильные льды встречены в разрезе высокой террасы мыса Саблера, и в котловине оз. Лабаз, [44] а также в 5 разрезах в береговых обрывах Енисейского залива от полярной станции Сопочная Карга ( $71^{\circ}88' \text{ с.ш.}, 82^{\circ}68' \text{ в.д.}$ ) до полярной станции Диксон ( $73^{\circ}31' \text{ с.ш.}, 80^{\circ}34' \text{ в.д.}$ ): в устье р. Крестьянка; в районе м. Сопочная Карга и в районе пос. Диксон. [50]

Норильск расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, в 300 километрах севернее Полярного круга (рис. 5). Зимой температура может опускаться до  $-60^{\circ}\text{C}$ , поэтому здания традиционно возводили на скальной породе или сваях, установленных на замёрзший грунт. Однако изменение климата и рост среднегодовых температур в Арктике приводят к повышению температуры (рис. 6 и рис. 7) и, даже к частичной деградации многолетнемерзлых пород, что угрожает городской инфраструктуре.

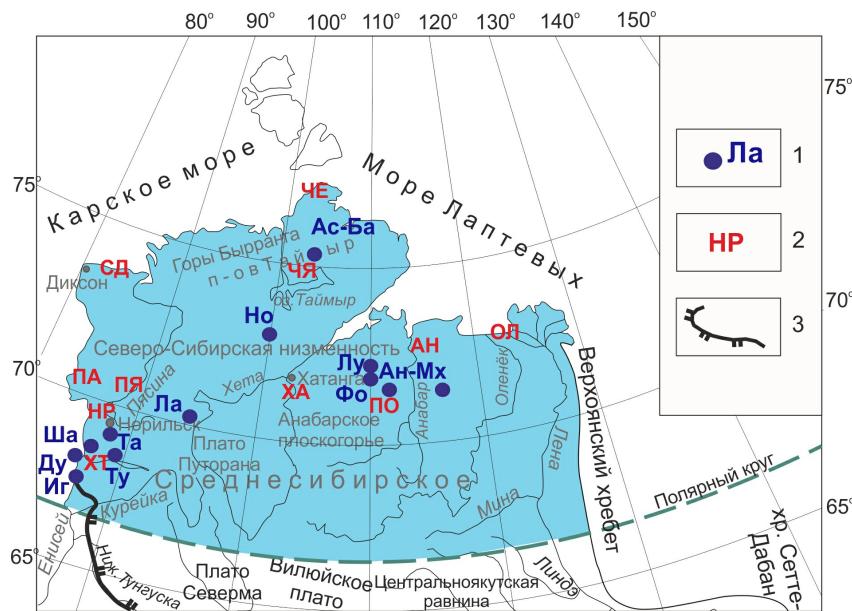


Рис. 5. Геокриологические зоны Средней Сибири (из [8]) и размещение основных объектов хозяйственной деятельности (из [6] с сокращением).

1 – граница зоны сплошного с поверхности распространения многолетнемёрзлых толщ; 2 – массивы пальзы (многолетнемёрзлых миграционных торфяных бугров); 3 – объекты хозяйственной и инженерно-геологической деятельности. Массивы многолетнемерзлых миграционных торфяных бугров: АН-Мх – долины рек Анабар, Оленек, Котуй, Попигай, Марха; Ас-Ба – пальза на озерах Астрономическое, Белое, Барометрическое; Ду – Дудинка; Иг – Игарка; Ла – оз. Лама; Лу – Лукунский лес; Но – р. Новая (Ары-Мас); Та – р. Талнах; Ту – р. Турумакит; Фо – р. Фомич; ША – севернее мыса Шайтанский. Инженерно-геологические объекты: АН – Анабарское россыпное алмазное месторождение; НР – Норильский горнодобывающий узел (Талнахско-Октябрьское месторождение); ПА – Паяхское нефтяное месторождение; ПО – Попигайское месторождение импактных алмазов; ПЯ – Паясинское угольное месторождение; СД – Сырда-Сайское угольное месторождение; ХА – Хатангское месторождение бурых углей (нефтяные залежи: Нордвикская, Ильинская и Кожевниковская); ОЛ – Оленекское месторождение природных битумов; ХТ – Хантайская и Усть-Хантайская ГЭС, ЧЕ – Челюскинское золотоносное месторождение; ЧЯ – Черноярское угольное месторождение

Температурный режим грунтов в центральной части г. Норильска характеризуется положительно динамикой среднегодовой температуры горных пород от -7 (в 50-е годы XX века) до -3°C (в 2024 г.).

В течение ближайших десятилетий значительная часть зданий в Норильске может пострадать из-за проседания фундаментов, вследствие повышения температуры многолетнемерзлых грунтов. К 2021 г. более 40 % зданий в Норильске уже подверглись деформации, а строительство автомобильных и железных дорог усложнилось.

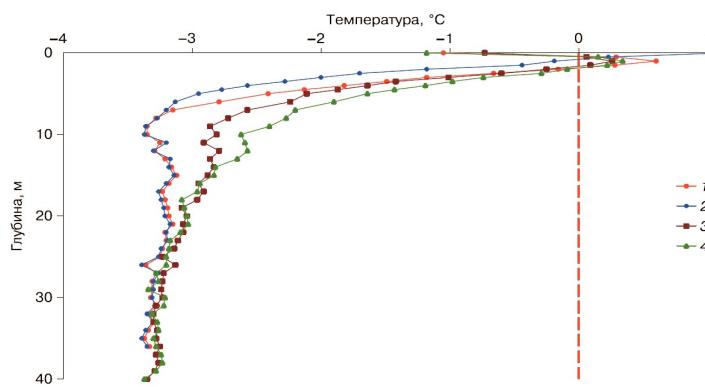


Рис. 6. Температура грунтов в районе глубокой скважины в центре Норильска в сентябре 2022 г. По П.И. Котову и др. [25]: 1 – скв. Н-1; 2 – скв. Н-2; 3 – скв. Н-3; 4 – скв. Н-4.

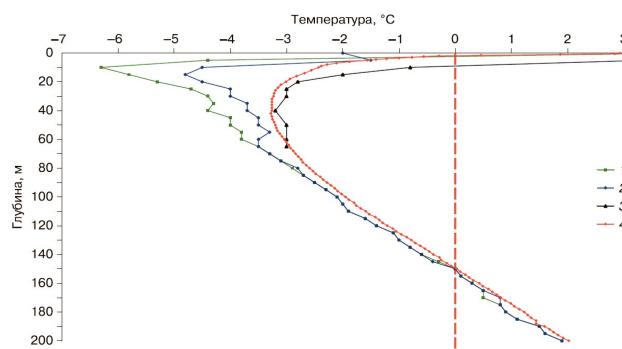


Рис. 7. Динамика температурного режима грунтов центральной части г. Норильска. По П.И. Котову и др. [25]: 1 – июль 1959 г.; 2 – декабрь 1985 г.; 3 – июль 2006 г.; 4 – сентябрь 2024 г.

### Пальза (миграционные торфяные льдонасыщенные бугры) близ г.Норильска

Большинство исследователей полагали, что на Таймыре бугров пучения миграционного типа (пальза) нет. Однако находки пальза в самых северных районах, включая окрестности Норильска и даже в самых северных районах Таймыра, заставили пересмотреть [5,6,52] эту точку зрения.

В Норильском районе В.Н. Саке [35] описал группу торфяных бугров высотой до 6–7 м. Они сложены торфом до глубины 0,8 м, ниже — мерзлыми суглинками и супесями. Иногда они вытянуты в виде гряд, иногда имеют округлую форму, но всегда встречаются значительными группами, приуроченными к озерным и речным террасам. В долине р. Норильской близ г. Норильска Н.Я. Кац [20] изучил крупные бугры, разделенные заросшими лесом понижениями, а иногда озерами. Эти бугры весьма напоминают по растительности торфяные бугры в долине р. Игарки. Но они, по мнению Н.Я. Каца [20], или целиком минеральные, или содержат лишь отдельные линзы торфа. Л. Шумилова [48] считает бугры в долине р. Норильской торфяными.

Х. Александерсон с коллегами [49] исследовали пальза высотой до 1,5–2,0 м и диаметром около 5,0 м в нескольких районах Таймыра — близ озер Астрономическое, Белое, Барометрическое (75–76° с.ш., 96–102° в.д.). Этими авторами [49] было описано более семи местонахождений пальза по берегам этих озер — в условиях арктической тундры при среднегодовой температуре минус 14,5°C и с практически полным отсутствием кустарниковой растительности. Скопления голоценовых торфяных бугров высотой до 3–4

м встречены Ж.М. Белорусовой и В.В. Украинцевой<sup>[3]</sup> на третьей террасе (в 5 км от реки) в долине р. Новой на востоке Таймыра ( $72^{\circ}30'$  с.ш.). Видимая мощность торфа, подстилаемого вязкой при оттаивании сильнольдистой супесью или серым суглинком, не превышает 2,5 м. Накопление торфа на контакте с супесью на глубине 2,1–2,2 м началось, по результатам радиоуглеродных датировок, 6670 или 6695 лет назад. В интервале глубин 1,20–1,25 м возраст торфа составляет 5860 лет. Накопление верхних слоев торфа на глубине залегания 0,2–0,4 м происходило 5495 лет назад.<sup>[3]</sup>

В.И. Гребенец со студентами<sup>[13]</sup> встретили небольшой бугор пучения (рис. 8) диаметром 20–30 м и высотой до 1,5 м в Норильском районе на вальковской озерно-аллювиальной террасе (на площадке Талнах с координатами примерно  $69,5^{\circ}$  с.ш.,  $87,4^{\circ}$  в.д.). Большая часть поверхности на указанном участке занята типичной тундрой, редко встречаются лиственничные редины. За период с 2005 по 2010 г. на Талнахе отмечено некоторое увеличение глубины сезонноталого слоя, но в этот период отмечены годы, когда наблюдалось и сокращение мощности сезонноталого слоя (2007 и 2009 гг.). Многолетние бугры пучения в долинах рек Норильская и Рыбная приурочены к крупным болотным массивам. В районе истока реки Пясины минимальная среднегодовая температура пород зафиксирована в торфяниках ( $-6,7$ ,  $-7,8^{\circ}\text{C}$ ), что связано со значительным охлаждающим воздействием мощного слоя торфа, отсутствием древесно-кустарниковой растительности и маломощным снежным покровом.<sup>[3]</sup>



Рис. 8. Пальза (миграционный торфяной бугор), на высокой позднеплейстоценовой террасе близ г.Норильска. Фото В.И.Гребенца

Т.Т. Ефремова и С.П. Ефремов<sup>[18]</sup> исследовали бугристые торфяники у озера Бурового в окрестностях города Кайерканы ( $69^{\circ}22'$  с.ш.,  $87^{\circ}44'$  в.д.), у озера Вологочан вблизи аэропорта Алыкель ( $69,31^{\circ}$  с.ш.,  $87,31^{\circ}$  в.д.), на мысе Блудном на озере Мелком ( $69,49^{\circ}$  с.ш.). Общий признак для всех этих крупнобугристых торфяников — чередование бугров, т.е. возвышенных мерзлых участков торфяного массива с талыми понижениями. Высота бугров варьирует от 1 до 5 м (рис. 6).

Мощность их торфяных залежей — 1,0–2,6 м. Под торфом находится мерзлое минеральное основание, возвышающееся над уровнем мочажин. Глубина торфа в мочажинах — от 0,8 до 3,0 м. В растительном покрове бугров довольно часто встречаются лиственница, ель, береза. В травяно-кустарниковом покрове преобладают багульник, карликовая береза, меньше представлены морошка, брусника, голубика. Термокарст на мерзлых органогенных и рыхлых минеральных породах, связанный с разрушением сегрегационного льда, обусловливает образование провальных форм

рельефа. Разновысотные торфяные бугры с минеральным ядром чередуются со вторичными озерками и озерами, имеющими то торфяные, то торфяно-минеральные или минеральные днища.[\[18\]](#)

На крупных торфяных миграционных буграх Норило-Пясинского озерно-болотного бассейна мощность торфяного слоя колеблется от 2,5–5,5 до 7–8 м. В наиболее зрелых талых мочажинах его мощность находится в пределах 2,0–4,5 м. Массив данных бугров находится под влиянием промышленной деятельности человека, обусловленной функционированием ОАО “Норильский никель” — он интенсивно загрязняется серой в комплексе с тяжелыми металлами.[\[18\]](#)

Основным объектом исследования Т.Т. Ефремовой и С.П. Ефремова[\[18\]](#) послужил типичный для лесотундровой зоны крупнобугристый торфяник низинного типа в долине р. Норильская. Торфяной массив примыкает к жилому массиву Оганер вблизи г. Норильска, т. е. расположен в эпицентре воздействия аэротехногенных потоков комбината на окружающую среду.[\[18\]](#)

Физико-химические показатели синхронно подразделяют торфянную залежь на две зоны. Первая — очерчивает глубину и характер техногенной трансформации — верхние 35 см. Вторая зона — 35–80 см характеризует исконный фон торфяника, сформированный в былых условиях природной среды. Фон легко распознается по монотонному характеру распределения всех параметров в толще 35–80 см. По степени изменения показателей выделены[\[18\]](#) три стадии деградации торфяника: сильно выраженная в пределах 0–1,5(5) см, глубокая 5(10)–15(25) см и переходная к фону — 15(25)–35 см.

На стадии глубокой деградации в пределах 5(10)–15(25) см былая залежь низинного типа по данным активной кислотности ( $\text{pH}_{\text{сол.}}$  3,2–3,5) соответствует верховой, а по степени насыщенности основаниями (27,7–28,6 %) — олигомезотрофной. Больше чем на порядок возрастает наиболее агрессивная обменная кислотность — 10,6–10,8 мг-экв./100 г (фон — 0,35–0,80 мг-экв./100 г). В слоях торфа, соответствующих стадии глубокой деградации, значительно увеличиваются зольность — до 31,9–37,4 % (фон — 7,4–9,36 %) и объемная масса — 0,278–0,465 г/см<sup>3</sup> (фон — 0,075–0,107 г/см<sup>3</sup>). В переходной зоне торфяника 15(25)–35 см воздействие промышленных выбросов на геохимическое состояние экосистемы ослабевает.[\[18\]](#)

Согласно Т.Т. Ефремовой и С.П. Ефремову[\[18\]](#) глубина прохождения техногенных потоков (серы и тяжелых металлов) в мерзлых крупнобугристых торфяниках не превышает 35 см. Исконное состояние торфяной толщи (глубже 35 см) может служить природным геохимическим фоном при оценке локальных техногенных загрязнений.[\[18\]](#)

Миграционные бугры пучения (пальза) часто встречаются в заполярной части криолитозоны Средней Сибири.[\[6,52\]](#) Крупный пальза встречен К. Шишаевым, на плато Пutorана, юго-восточнее Норильска (рис. 9).



Рис. 9. Пальза (миграционный торфяной бугор), на плато Путорана, юго-восточнее Норильска, западнее оз. Кета и севернее Хантайского водохранилища ( $68,38^{\circ}$  с.ш.,  $87,38$  в.д.). Фото К. Шишаева

Выразительные бугры пучения наблюдались Т.Ю. Репкиной, С.Н. Калачевым и М.Н. Прохоровым на южной окраине Норильского плато в долине реки Турумакит ( $68,4^{\circ}$  с.ш.,  $87,7^{\circ}$  в.д.).<sup>[6]</sup> Они располагаются выше резкого сужения долины реки в её верховьях – на участке протяженностью около 4 км на обоих берегах. Эти бугры приурочены, как правило, к террасовидной ступени высотой от 10 до 20 м над урезом воды (с абр. отметками 200–260 м), сложенной валунными суглинками предположительно раннесартанского возраста. На левом берегу р. Турумакит группа из восьми бугров пучения высотой 5–7 м (рис. 10) приурочена к днищу депрессии, расположенному на высоте 2–5 м над урезом воды в реке (абр. отметках 240–245 м).<sup>[6]</sup>



Рис. 10. Самый крупный из встречающихся в долине р.Турумакит бугор пучения высотой более 7 м (а) и трещины в торфе, перекрывающем бугор (б). Из <sup>[6]</sup>. Фото Т.Ю.Репкиной

На правом берегу р. Турумакит в вытянутой с северо-запада на юго-восток депрессии с заболоченным днищем наблюдались две группы бугров пучения. В ее тыловой части при впадении в нее небольшого ручья на днище расположена группа из шести крупных бугров пучения. Врез депрессии уменьшается от 10 м в тыловой части до 3–4 м на юго-западе, где она дренируется. Ее днище плоское, по периметру занято ивняком, ближе к

центру на нем наблюдаются осоковая растительность и еще не заросшие озерца, окаймляющие бугры. Последние имеют правильную круглую форму, иногда слабо вытянуты по простиранию депрессии. Их высота изменяется от 5 м в тыловой части до 3 м на юго-западной стороне. Бугры образуют две группы, разделенные полосой днища с осоковой растительностью шириной несколько метров.[\[6\]](#)

Крупные пальзы известны вблизи г. Дудинка.[\[52\]](#)

М.Ю.Голубчиков, Л.Г.Горлова и Е.С. Перминова[\[12\]](#) описали формирование и распад сезонного техногенного инъекционного бугра пучения сформировавшегося в толще подруслового талика близ г.Норильска в результате выброса большого количества воды при аварии на водопроводе 18 мая 2004 г. Утечка была ликвидирована в течение одних суток, но значительное количество воды, успело профильтроваться в подрусловой талик протекающего на этом месте ручья. Бугор пучения сформировался примерно в 200 м ниже по склону от трубопровода. Между трубопроводом и техногенным бугром пучения на поверхности снежника образовалась наледь, фиксирующая, видимо, место фильтрации воды в подрусловой талик. Размер наледи на момент первых наблюдений (17 июня 2004 г) составлял около 10 м в диаметре.

На момент первого наблюдения в высоту бугор пучения составлял около 4 м, и имел вытянутую, круглую форму, его продольные размеры составляли около 60 м, а поперечные около 28 м (рис. 11, 12). Лед, вскрывавшийся в ядре бугра, был голубой и прозрачный, а в центре он сменялся белым, послойно-намороженным (рис. 13, 14, образовавшимся, видимо, вследствие растрескивания ледяного ядра и замерзания в трещине талых вод. Ширина этого повторно-намороженного льда составляла около 60 см., а длина - около 11 м.

К 7 июля бугор сильно деградировал. Лёд в центре трещины протаял, и с левой стороны образовался грот, высотой около 130 см., и глубиной около 3 м. Жаркие погодные условия лета 2004 г привели к полному разрушению техногенного инъекционного бугра пучения. Бугор пучения практически сравнялся с землей, а в центре его 22 июля образовалась депрессия, глубиной около 1 м.[\[12\]](#)



Рис. 11. Протечки воды из трубопровода (а) и техногенный инъекционный бугор пучения (б), сформировавшийся в толще подруслового талика близ г.Норильска в результате выброса большого количества воды при аварии на водопроводе 18 мая 2004 г. общий вид бугра 19 июня. Фото Е.Перминовой



Рис. 12. Техногенный инъекционный бугор пучения, сформировавшийся 18 мая 2004 г. в толще подруслового талика близ г.Норильска: а - общий вид бугра на фоне города, б - ледяное ядро бугра 19 июня. Фото Е.Перминовой

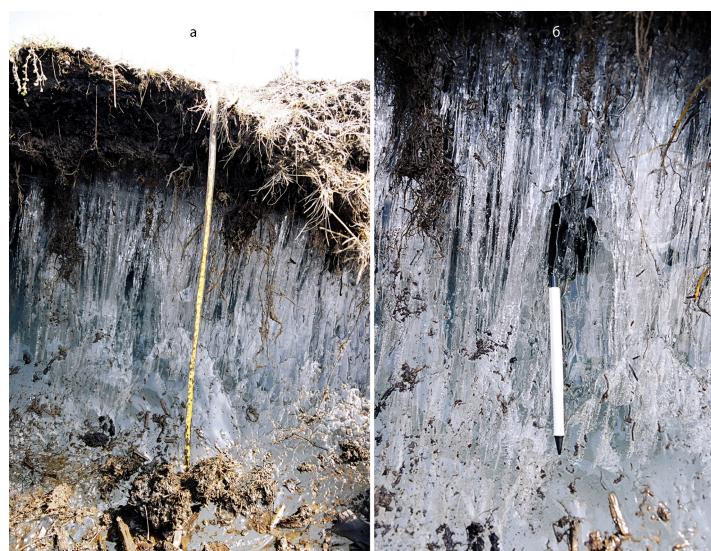


Рис. 13. Строение ледяного ядра техногенного инъекционного бугра пучения, сформировавшегося в толще подруслового талика близ г.Норильска 7 июля 2004 г.: а - залегание ледяного ядра непосредственно под сезонно-talым слоем б - вертикальная столбчатость структуры ледяного ядра. Фото Е.Перминовой



Рис. 14. Строение ледяного ядра техногенного инъекционного бугра пучения 7 июля 2004 г. (а-в), сформировавшегося близ г.Норильска Фото Е.Перминовой

**Особенности гидротопа и его техногенной трансформации.** Таймыр обладает значительными запасами пресной воды, однако регулярные аварии на предприятиях «Норникеля» приводят к загрязнению водной системы региона.

Наиболее крупные реки региона – Паясица и Нижняя Таймыра – имеют круглогодичный сток со среднегодовым расходом до 1,5 тыс. м<sup>3</sup>/с, а более мелкие – сток в течение 3–3,5 мес. и полностью перемерзают в зимнее время. Воды рек и ручьев слабоминерализованные (менее 100 мг/л), многочисленные озера либо также слабоминерализованные, либо пресные. Наиболее крупные озера (Таймыр, Портнягино, Купгасалах). Озера покрыты льдом до 9–10 мес. в году, в большинстве озер ледяной покров достигает дна, в результате чего под мелкими (до 2–2,5 м) озерами промерзают сезонные подозерные талики. Лагунные озера характеризуются большой соленостью, особенно имеющие связь с морем.

В мае 2020 г. на ТЭЦ-3, принадлежащей дочерней компании «Норникеля» – Норильско-Таймырской энергетической компании, в Норильске разлилось более 20 тыс. тонн дизельного топлива. Эта катастрофа стала одной из крупнейших в истории Арктики: топливо попало в почву и близлежащие водоёмы, включая реки Амбарную и Далдыкан, а также озеро Паясица, которое связано с Карским морем. Причиной аварии стало проседание резервуара из-за деградации мерзлоты, усугублённое отсутствием своевременного ремонта.

Разлив привёл к массовому загрязнению почвы и водных экосистем, уничтожению популяций рыб и накоплению тяжёлых металлов в их печени.

К 2022 г. естественные процессы способствовали частичному самоочищению водоёмов, но низкие температуры замедляют разложение нефтепродуктов. Вода в Норило-Пясинской системе не превышает предельно допустимые концентрации нефтепродуктов, однако зафиксированы превышения по никелю (в 42 раза), меди (в 3 раза) и железу (3,2 раза). Берега реки Щучья, протекающей через центр Норильского промышленного района, остаются красными из-за окислившейся пульпы.

Д.М.Безматерных и др.[\[2\]](#) привели результаты гидрохимического анализа последствий аварийного попадания дизельного топлива в Норило-Пясинскую водную систему. Выявлено загрязнение водотоков водосборного бассейна оз. Пясино (ручей безымянный/Надеждинский, реки Далдыкан, Амбарная) нефтепродуктами, фенолами, трудно- и легкоокисляемыми органическими веществами, взвешенными веществами, неорганическими солями и тяжелыми металлами выше фоновых значений и ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub>. Зафиксирована термофикация (повышении температуры водоёма вследствие сбрасывания тёплых и подогретых вод промышленными предприятиями) вод безымянного ручья в районе ТЭЦ-3. Загрязненность поверхностных вод уменьшается вниз по течению в ряду: ручей безымянный - р. Далдыкан - р. Амбарная. Присутствие в поверхностных водах нефтепродуктов, фенолов и органических веществ через два месяца после разлива топлива, очевидно, связано с их диффузией из речных донных осадков, где произошло значительное накопление тяжелых фракций дизельного топлива после аварии. Повышенное содержание Ca, Cu, Zn, Mn, Co и Ni в воде исследованных притоков оз. Пясино непосредственно с аварией не связано, а является результатом общего техногенного загрязнения территории и повышенного геохимического фона по данным элементам. Загрязнения воды нефтепродуктами и фенолами исследованных участков оз. Пясино (центральная и северная части) и р. Пясина не выявлено, однако обнаружены повышенные концентрации Pb и присутствие Cd, что, вероятно, связано с накопленным загрязнением в предыдущие годы.[\[2\]](#)

О.П. Таран и др.[\[40\]](#) провели анализ проб донных отложений и колонок донных отложений на общее содержание нефтепродуктов (углеводородов) в Норило-Пясинской группе водных объектов, подвергшихся загрязнению в результате разлива дизельного топлива из резервуара ТЭЦ-3 АО "НТЭК" г. Норильска. Методом газовой хроматографии получены распределения н-алканов в экстрактах донных отложений, изучен вклад в общее содержание углеводородов дизельного топлива и углеводородов слабозрелого органического вещества современных осадков. Исследован углеводородный состав дизельного топлива и хлороформенных экстрактов донных отложений. В результате показано, что уровни загрязнения донных отложений углеводородами для оз. Пясино являются не существенными по сравнению с их фоновым содержанием, а максимальное загрязнение выявлено для донных отложений р. Амбарной.[\[40\]](#)

М.И. Ксенофонтова[\[28\]](#) проанализировала трансформацию химического состава поверхностных вод в зоне влияния хвостохранилища Депутатского ГОКа Усть-Янского района и выявила, что техногенные воды хвостохранилища существенно влияют на поверхностные воды водотоков, расположенных вблизи данного объекта. Исследуемые воды обогащены сульфат и фосфат-ионами, стронцием, алюминием, железой, медью, марганцем, никелю, кадмием, кобальтом, цинком. На фоновых участках в донных отложениях наблюдается незначительное накопление марганца и кадмия. В р. Иргичээн и Таас Юрях превышений локального геофона не отмечается. В зоне влияния хвостохранилища в водотоках зафиксировано накопление меди, цинка, свинца, кобальта, марганца и кадмия. В донных отложениях р. Депутатская в техногенно-

преобразованных территориях отмечается накопление меди, на устьевом участке р. Поисковый - марганца. В реке Иргичээн после впадения р. Ойуун Унуохтаах отмечается незначительное накопление цинка, кадмия и меди. Трансформация химического состава наблюдается в части загрязнения исследованных вод экстремально высокими концентрациями по сульфат- и фосфат-ионам, стронцию, алюминию, железу, меди, марганцу, никелю, кадмию, кобальту, цинку, а также изменению pH среды в сторону закисления.[\[28\]](#)

**Особенности эдафотопа и его техногенной трансформации.** Почвообразование в пределах Норильской промышленной ЭГС протекает при активном влиянии криогенеза.

М.В. Орлов[\[31\]](#) привел обстоятельную характеристику почв территории заповедника «Таймырский»: и выделил более 10 типов: криозёмы, торфяно-криозёмы, глеезёмы, торфяно-глеезёмы. перегнойные почвы, литозёмы грубогумусные, литозёмы, карболовитозёмы торфяные, пелозёмы, псаммозёмы, псаммозёмы гумусовые, криометаморфические почвы (абразёмы) пучинные.[\[31\]](#)

Оценка экологического состояния почв по химическим и биологическим показателям в зоне деятельности ГМК «Норильский никель» выполнена С.В. Кудряшовым.[\[29\]](#) Наиболее загрязненной соединениями тяжелых металлов является территория г. Норильск. Выявлено превышение нормативов ОДК (ориентировочно допустимая концентрация - это уровень содержания элементов, который при длительном воздействии на почву не вызывает патологических изменений или аномалий в биологических процессах, а также не приводит к накоплению токсических элементов в растениях) меди в почвоподобных телах газонов города более чем в 120 раз, никеля - в 36, а кобальта - в 23 раза, содержание серы превышает кларк в 8 раз. Одной из причин такой высокого содержания тяжелых металлов в почвоподобных телах газонов города является: технология их конструирования. Другая причина - высокое антропогенное воздействие со стороны предприятий: Никелевого и Медного заводов прилегающих непосредственно к городу с юго-востока и северо-запада. Оценка опасности загрязнения газонов г. Норильска по суммарному показателю загрязнения позволила охарактеризовать этот уровень как опасный и чрезвычайно опасный. С удалением от Норильска уровень загрязнения почв меняется. Почвенный покров на расстоянии 4 км от города характеризуется чрезвычайно высоким содержанием тяжелых металлов, которое превышает ОДК по кислоторастворимым соединениям меди и никеля в 3-12 раз, по подвижным в 10-36 раз и водорастворимым в 3-4 раза. Для этой территории характерно отсутствие древесной растительности, нарушение цикла минерализации органического вещества. Территория, удаленная от Норильска на 4-16 км, характеризуется содержанием кислоторастворимых соединений Cu и Ni в почвах до 6 ПДК, подвижных - 5-18 ПДК, а водорастворимых - 2-3 ПДК. Растительность представлена мертвым древостоем с подростом лиственницы, наблюдается отсутствие лишайников и снижение уровня биологической активности почв по показателю коэффициента минерализации органического углерода С удалением на 16-25 км от Норильска отмечается превышение ОДК тяжелых металлов в почвах по кислоторастворимым соединениям до 2-3 раз, по подвижным до 4-18 раз, в тоже время не выявлено превышения ПДК по водорастворимым соединениям тяжелых металлов. Содержание серы в загрязненных почвах на различном удалении от города варьируется и превосходит значение кларка в 2-8 раз. При аэротехногенном загрязнении отчетливо прослеживается накопление тяжелых металлов в верхнем 0-15 см слое почвы, в основном, в органогенных горизонтах: подстилке, торфяном и гумусовоаккумулятивном. Анализ фракционного

состава меди, никеля и кобальта показал, [29] что значительная доля тяжелых металлов связана с аморфными соединениями железа и органическим веществом почвы, это создает предпосылки для сезонной миграции тяжелых металлов в водоемы при развитии восстановительных процессов в условиях избыточного увлажнения почв, которые широко распространены в Норильской промышленной ЭГС.

Распределение тяжелых металлов по профилю фоновых почв согласно данным С.В. Курдяшова характеризуется двумя максимумами содержания тяжелых металлов. [29] Первый максимум приурочен к верхнему органогенному горизонту, что типично для почв с большим содержанием органического вещества. Второй максимум расположен в надмерзлотном горизонте и связан с накоплением ТМ, переносимых по профилю почвы с нисходящим током воды (рис. 15, А).

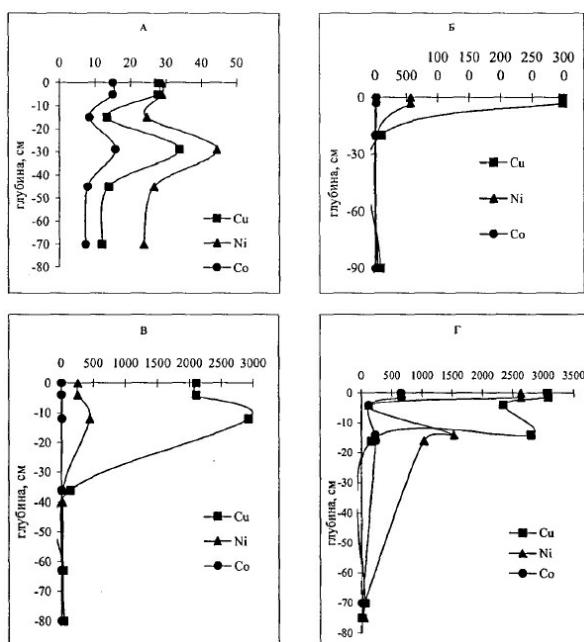


Рис. 15. Распределение тяжелых металлов (мг/кг) по профилю фоновых (А) и загрязненных (Б, В, Г) тундровых глеевых почв. По С.В. Курдяшову. [29]

Распределение тяжелых металлов по профилю загрязненных почв меняется в зависимости от источника загрязнения. В случае преобладания воздушного пути поступления загрязняющих веществ наблюдается один, ярко выраженный максимум в поверхностном органогенном горизонте. Относительное накопление металлов в поверхностном горизонте почв обусловлено аэробиотехногенным привносом и их биофильностью, вследствие аккумуляции в тканях растений. В верхних горизонтах загрязненных почв валовое содержание Cu выше, чем Co и Ni, в отличие от фоновых почв, что объясняется большим поступлением Cu в составе газопылевых выбросов предприятий. Следует отметить, что в природных, фоновых почвах, независимо от пород, на которых они сформированы, содержание Ni, как правило, больше, чем Cu. Полученные данные показывают, что проникновение тяжелых металлов, поступивших в почву с газопылевыми выбросами, распространяется в среднем до глубины 25 см. Однако загрязненным может быть и весь почвенный профиль вплоть до горизонта многолетней мерзлоты (рис. 15, В). Почва на пробной площадке в 4 км от Норильска характеризовалась глубоким проникновением тяжелых металлов по профилю. Наиболее ярко два максимума накопления тяжелых металлов в профиле почв наблюдаются вблизи объектов размещения отходов, где в надмерзлотном горизонте содержание Cu в 10-12 раз превышает фоновые значения (рис. 15, Г). Таким образом, аккумулятивный характер

распределения элементов по профилю всех исследованных почв показывает явное преобладание воздушного пути поступления элементов в почвы. Вблизи объектов размещения отходов второй максимум содержания тяжелых металлов, в надмерзлотном горизонте, наиболее выражен, что обусловлено внутрипрофильной миграцией и боковым притоком тяжелых металлов.

Территория города Норильск и удаленная от него на расстояние до 4 км в соответствии с принятыми в природоохранной практике методами ранжирования может быть отнесена к территориям с 5 уровнем потери экологического качества окружающей природной среды. Зона 4-16 км от города отнесена к 4 уровню потери экологического качества окружающей природной среды. Зона 16-25 км от Норильска характеризуется 3-м уровнем потери экологического качества окружающей природной среды. За пределами 25 км зоны экологическое состояние окружающей природной среды соответствует 1-2 уровню потери экологического качества. Территория близкая к состоянию нормы по принятым природоохранной практике критериям экологического нормирования по северо-восточному направлению находится на расстоянии более 25 км от Норильска.[\[29\]](#)

С.И.Миронова, Л.П. Капелькина[\[30\]](#) рассмотрели нормативные основы и региональные подходы к рекультивации земель, нарушенных при разработке алмазных месторождений Якутии. Алмазные месторождения находятся на западе (Мирнинский район) и севере (Анабарский, Булунский районы) республики. До недавнего времени добыча проводилась открытым карьерным способом, в результате которой огромные территории подвергались техногенному прессу, преобразуя естественные ландшафты в карьеры, хвостохранилища, отвалы пустых пород, линии электропередач и промышленные площадки. Это создало негативное воздействие на окружающую среду и проблему восстановления нарушенных участков. Добыча алмазов на территории Якутии ведется на месторождениях двух типов - коренных залеганий (трубок) и из россыпей. Вскрышные и вмещающие породы коренных залеганий в подавляющей массе представлены осадочными карбонатными породами: мергелями, известняками и доломитами. Крутые отвалы (до 60 град.) достигают высоты, близкой к 100 м. Самозаrstание происходит медленно, что обусловлено неблагоприятными водно-физическими свойствами субстрата, неустойчивостью откосов из-за значительной крутизны, отсутствием или недостаточностью плодородных пород.[\[30\]](#)

В этой связи необходима разработка особых приемов рекультивации, учитывающих как природно-климатические условия местности, так и характер нарушений, обусловленных горными работами при добыче алмазов в суровых условиях Якутии.

А.А. Петровым[\[32\]](#) приведены данные о молодых почвах и грунтах отвалов вскрышных пород, сформированные при разработке коренных месторождений алмазов карьеров «Удачный» и «Айхал» АК «АЛРОСА», которые расположены в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия), в бассейне верхнего течения реки Марха. На исследованных отвалах развиваются молодые почвы и грунты из класса литогенно-неразвитых почв. Даны характеристики элювиоземов инициальных, органо-аккумулятивных и перегнойных и описаны стадии восстановления почвенного покрова. Частично эти отвалы были рекультивированы, был нанесен суглинистый и (или) потенциально плодородный слой почвы на поверхность отвалов. Здесь выделены техноземы недифференцированные инициальные и техноземы недифференцированные органо-аккумулятивные.[\[32\]](#)

А.Г. Гололобова[\[10\]](#) рассмотрела техногенное загрязнение почв в районе влияния Нюрбинского горно-обогатительного комбината (Западная Якутия). Исследованы почвы

Хання-Накынского междуречья территории Средне-Мархинского алмазоносного района. Пробы проанализированы методом атомно-абсорбционной спектрометрии для определения подвижных форм Pb, Ni, Mn, Cd, Co, Cr, Zn, Cu и As. В ходе исследования установлено, что основными загрязняющими элементами являются Mn, Ni и Co. Выявлено превышение ПДК у Mn и Cd в 7 раз, Cu в 1,7 раз и Ni в 1,5 раз. В настоящий момент более 260 км<sup>2</sup> промышленной площадки характеризуется высоко опасной категорией загрязнения почвенного покрова.[\[10\]](#)

На промышленной площадке Нюрбинского горно-обогатительного комбината зафиксировано пространственное увеличение контрастности техногенных аномалий, характеризующих активное накопление подвижных форм Mn (в 17 раз), Zn (в 5 раз), Cd (в 2,6 раз), Cr (в 2 раза), Co (в 1,8 раз) и Ni (в 1,6 раза) в поверхностных органогенных горизонтах почв. Накопление Mn, Ni, Co обусловлено преимущественно природными (обнаружение типоморфных кимберлитам элементов) и техногенными факторами (аэрогенное распространение мелкодисперсных частиц в результате буровзрывных работ, ветровая эрозия).[\[11\]](#)

П.П.Данилов с соавторами[\[15\]](#) обобщили результаты мониторинговых эколого-почвенных исследований о преобразовании северотаежных почв в условиях антропогенного воздействия и возможное дальнейшее их развитие при изменении современного климата. Оценена устойчивость доминирующих типов почв Вилюйско-Оленекской таежной почвенной провинции Якутии, как механическому воздействию, так и химическому загрязнению. Выявлена низкая устойчивость практически всех доминирующих типов почв водораздельных пространств данного района. К среднеустойчивой градации относятся почвы пойменных ландшафтов, в т. ч. мерзлотные аллювиальные дерновые. На фоне дальнейшей трансформации современного климата ожидается усиление преобразования слабоустойчивых северотаежных почв Вилюйско-Оленекской таежной почвенной провинции Якутии.[\[15\]](#)

В Норильском промышленном районе разрабатываются и перерабатываются месторождения сульфидных медно-никелевых и других руд, что привело к распространению почв техногенных ландшафтов, а в естественных ландшафтах – к механической и химической трансформации почв.[\[38\]](#) Это привело к тому, что в районе сформировалась техногенная геохимическая аномалия, где почвы на породах и/или техногенных грунтах исходно и/или техногенно обогащены Cu, Ni, Co, Cr, S-SO<sub>4</sub>. В Северо-Сибирской низменности преобладают естественные ландшафты, а почвообразование идет на иных по составу и свойствам породах, нежели на плоскогорье. Территория низменности локально нарушена нефте-, газодобычей, а в целом находится в близком к естественному состоянию, что обуславливает относительно низкое содержание в почвах Cu, Ni, Co, Cr, S-SO<sub>4</sub>. Естественная и антропогенная экзодинамика Таймыра определили различие фонового количества в почвах приоритетных поллютантов – т.е. валового содержания Cu, Ni, Co, Cr и концентрации водорастворимых сульфатов (мг/кг почвы): Северо-Сибирская низменность – Cu 45, Ni 45, Co 15, Cr 80, S-SO<sub>4</sub> 10; Норильский промышленный район – Cu 75, Ni 90, Co 40, Cr 170, S-SO<sub>4</sub> 20.[\[38\]](#) Их предлагается использовать как региональные нормативы для оценки загрязнения почв. В почвах естественных и техногенных ландшафтов Таймыра нет зависимости валового содержания тяжелых металлов от количества физической глины, ила, органического вещества, реакции среды. Статистически значимо влияние усиления кислотности почв на увеличение подвижности Cu, Ni, Co, Cr и Al. Подвижность

разных металлов отличалась и уменьшалась сверху вниз по профилю, скорее всего, из-за изменения реакции и окислительно-восстановительных условий почвенной среды. В естественных и нарушенных поймах рек Норильского промышленного района иногда встречаются почвы с мертвым растительным покровом и очень сильнокислой реакцией среды поверхностного 5 сантиметрового слоя или всего профиля. Усиление кислотности почв приводит к появлению фитотоксичных концентраций обменного Al, который для растений может быть более губителен, чем тяжелые металлы. Для ремедиации таких почв можно использовать хемостабилизацию известкованием, которая уменьшит кислотность почв и подвижность в них металлов.[\[38\]](#)

Различия свойств и состава почв, обусловленные природными и антропогенными факторами почвообразования, фиксируются при анализе их изменения в почвах трансекты юг–север Таймыра (рис. 16).

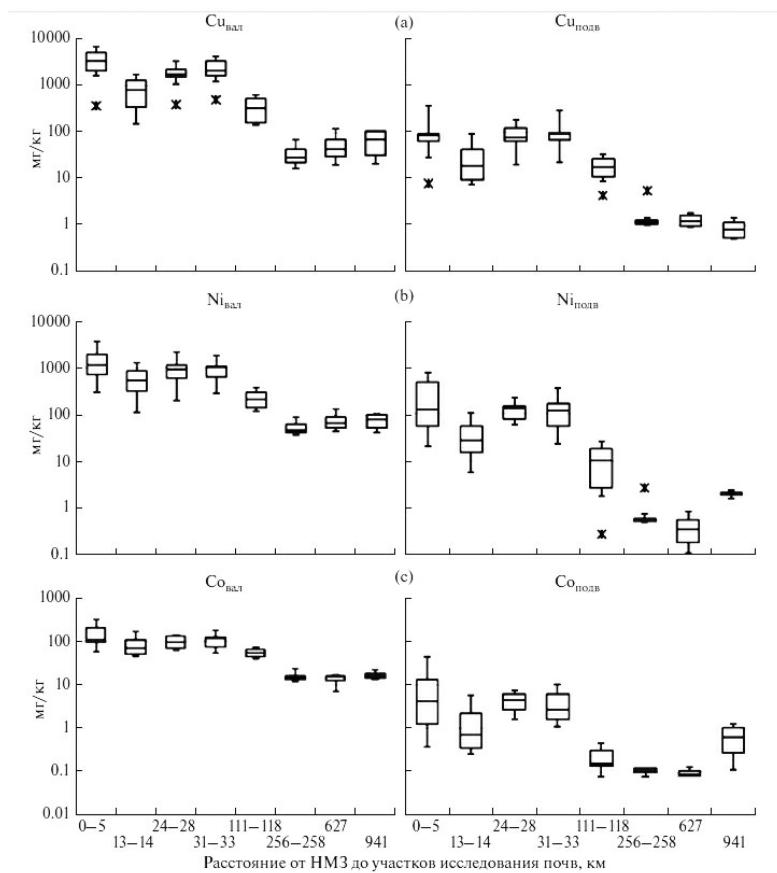


Рис. 16. Пространственное изменение содержания Cu, Ni и Co в слое 0–20 см аллювиальных почв трансекты с юга на север Таймыра: Cu<sub>вал</sub>, Ni<sub>вал</sub>, Co<sub>вал</sub> – валовое содержание; Cu<sub>подв</sub>, Ni<sub>подв</sub>, Co<sub>подв</sub> – содержание подвижной формы. Из А.И.Сысо и др.[\[38\]](#)

Наибольшие величины общего содержания Cu, Ni, Co и Cr и концентрации их подвижной формы обнаружены в поверхностном 0–20 см слое и лежащих на глубине 30–70 см слоях почв на удалении до 33 км от Надеждинского завода (см. рис. 16).

### Особенности биотических компонентов Норильской промышленной ЭГС

#### **Особенности техноМикробоценоза и его техногенной трансформации.**

Микробиологические особенности почв Норильской промышленной ЭГС, исследовали М.В. Корнейкова и др.[\[24\]](#) В городских почвах районов Норильской агломерации величина микробной биомассы изменялась от 107 до 159 мкг Сг/1 (рис. 17, а).

М.В. Корнейковой и др.[\[24\]](#) не выявлено существенной разницы между городскими почвами 4 изучаемых районов. Однако по сравнению с фоновой почвой микробная биомасса была существенно ниже: в Кайеркане и Талнахе в 4,5 и 6 раз соответственно, в центральном районе и Оганере приблизительно в 2 раза (см. рис. 17, б). Отмечено, что для городских почв Норильской агломерации характерны низкие значения микробной биомассы, по сравнению как с регионами, расположенными в средней полосе, так и с северными городами, такими как Мурманск, Апатиты.[\[24\]](#)

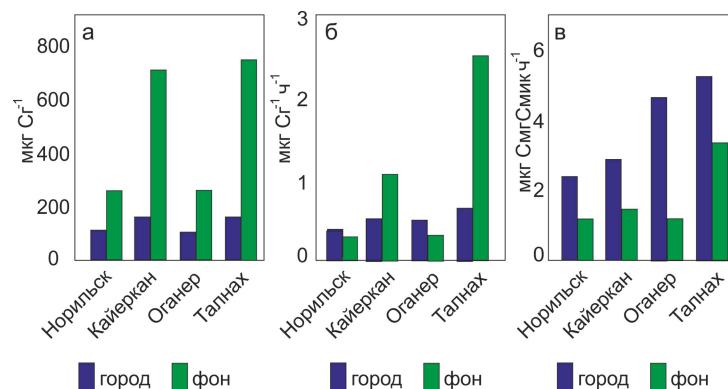


Рис. 17. Микробная биомасса (а), базальное дыхание (б) и микробный метаболический коэффициент (в) в почвах районов Норильской агломерации по сравнению с фоновыми. Из М.В.Корнейковой и др.[\[24\]](#)

Низкие значения микробной биомассы можно объяснить слабо развитым растительным покровом в районах исследования, неблагоприятными физико-химическими свойствами почвы (переуплотнение, низкое содержанием органического вещества, pH и пр.), а также высоким уровнем содержания загрязняющих веществ, в первую очередь тяжелых металлов.[\[24\]](#)

Состав бактерий воды и донных отложений оз. Пясино и прилегающих к нему рек изучили О.В.Колмакова и др.[\[22\]](#) На участках рек, подвергшихся воздействию нефтепродуктов в мае 2020 г., бактерий-деструкторов углеводородов не обнаружено. В реках Далдыкан и Амбарной, расположенных ниже по течению от места разлива, доминируют бактерии, окисляющие серу и мышьяк. В то же время в оз. Пясино эти бактерии не обнаружены, доминантами там являются мелкие цианобактерии и нормальная олиготрофная микрофлора. Таким образом, состав бактерий воды и донных отложений Норило-Пясинской водной системы соответствует техногенному воздействию, которому она подвергается, а также демонстрирует буферные свойства оз. Пясино на пути стока воды в Карское море.[\[22\]](#)

**Особенности технозооценоза и его техногенной трансформации.** В ходе исследований Норильской промышленной ЭГС удалось обнаружить два вида птиц, занесенных в Красную книгу. При обследовании территории на левом и правом берегах Енисея отметили кречета и орлана-белохвоста. Кроме них зафиксировано пять видов птиц в районе газовых месторождений на левом берегу Енисея и шесть видов – в Норильском промышленном районе.

На правом берегу Енисея в районе Дудинки, Норильска и Талнаха в ходе маршрутных учетов выявлено восемь видов млекопитающих. Это белка, горностай, заяц-беляк, лисица, песец, росомаха, соболь и норка. При этом самыми многочисленными видами оказались заяц-беляк и песец. Наибольшая численность зайца-беляка отмечена в зоне

среднего воздействия предприятий вдоль левого берега реки Амбарной, причина благополучия этого вида на данной территории – сочетание благоприятных кормовых и защитных условий.

В этих условиях хорошо себя чувствуют горностаи, росомахи, соболя, песцы, белые медведи, северные олени, снежные бараны, овцебыки. В реках водятся сиги, осетры, хариусы, таймени и многие другие виды, привередливые к качеству воды. В морях здесь встречены тюлени, моржи, дельфины-белухи, нерпы, морские зайцы.

На Таймыре обитает крупнейшая в России мигрирующая тундровая популяция диких северных оленей с численностью около 250 тыс. особей.<sup>[14]</sup> Состояние популяции в настоящее время оценивается как неблагополучное. Наибольший урон поголовью диких северных оленей таймыро-эвенкийской популяции нанесли перепромысел и браконьерская охота. Негативное влияние на состояние популяции оказали техногенные факторы: деятельность Норильского промышленного комплекса, строительство линейных сооружений, удлинение сроков навигации на р. Енисей. К этим факторам, сокращающим численность таймырских оленей, добавились природные: потепление климата, рост численности волка.<sup>[14]</sup>

А. В. Прокудин с соавторами<sup>[34]</sup> охарактеризовали особенности видового разнообразия, репродуктивных и морфометрических особенностей мышевидных грызунов Норило-Пясиной экосистемы Норильской промышленной ЭГС. Установлено, что фауна мышевидных грызунов представлена четырьмя видами, где доминирующим видом является сибирская красная полевка. Относительная численность мышевидных грызунов в биотопах Норило-Пясинской экосистемы Норильской промышленной ЭГС характеризуется как незначительная. Анализ репродуктивного потенциала мышевидных грызунов не показал существенных изменений воспроизводительных качеств, несмотря на различие в удаленности мониторинговых площадок от Норильского промышленного района в местообитаниях, за исключением половозрастной структуры грызунов, которая характеризуется превышением количества самок над самцами, где соотношение полов составило 1:1,33. В ходе исследования морфометрических показателей выяснили, что мышевидные грызуны, обитающие на одном из участков, характеризовались более высокими параметрами массы и длины тела. На формирование локальной численности мышевидных грызунов, а также их репродуктивных и морфометрических показателей оказывают влияние структура и разновидность растительного сообщества, природно-климатические факторы и экологическое состояние среды обитания.<sup>[34]</sup>

В рамках проведения Большой Норильской экспедиции в 2022-2023 гг. выполнено исследование биоразнообразия пресноводных экосистем, расположенных в зонах воздействия объектов ПАО «Норильский никель». М.И. Гладышев<sup>[9]</sup> сравнил состояние экосистемы оз. Пясино до и после аварийного разлива 2020 г. и рассмотрел токсичность нефти для гидробионтов и влияние нефтяного загрязнения на сообщества планктона, бентоса и ихтиофауны, а также вопросы ликвидации экологических последствий нефтяных разливов. Он описал состояние экосистемы оз. Пясино до аварийного разлива 2020 г., а именно гидрохимические показатели, видовой состав, численность и биомасса планктона, бентоса и рыб и предложил возможные мероприятия для восстановления экосистемы оз. Пясино.<sup>[9]</sup>

В ходе полевого сезона 2023 г. в Норильском промышленном районе был обнаружен новый вид – неизвестный ранее вид жука рода *Synapria* (долгоносик). В числе открытых экспедиции также расширение ареалов известных ранее живых организмов (например,

впервые обнаруженные в Забайкалье грибы).

Участниками Большой норильской экспедицией СО РАН в начале августа, через два месяца после разлива 20 тыс. т дизельного топлива в руч. Безымянный. О.П Дубовской и др.[\[17\]](#) отобраны пробы сетного зоопланктона на 13 станциях, включавших оз. Пясино с истоком из него р. Пясина. Проведен сравнительный анализ видового состава, численности, биомассы и индекса сапробности (показателя, который используется для оценки степени органического загрязнения водоёма, основанного на анализе видов организмов, которые встречаются в этих водах) зоопланктона. Рассчитана продукция коловраточного и раккового планктона и потенциальная рыбопродукция планктофагов в оз. Пясино. Показано постепенное улучшение качества воды по зоопланкtonу от речных участков, подвергнутых сливу нефтепродуктов, до северной части озера и истока р. Пясины. Низкие численность и биомасса зоопланктона в оз. Пясино за счет доминирования коловраток (*Ploesoma truncatum* (Levander), *Bipalpus hudsoni* (Imhof), *Conochilus unicornis* Rousselet) обусловили низкие величины продукции зоопланктона и потенциальной продукции рыб планктофагов.[\[17\]](#)

В устье р. Амбарная в 2020 г. после нефтяного разлива, ниже бонового заграждения, предотвратившего дальнейшее распространение нефтепродуктов, неожиданно была отмечена вспышка численности и биомассы зоопланктона. Ранее вспышка численности зоопланктона была также зафиксирована в р. Колва (приток р. Печора) после аварийного разлива в 1994 г. 120 тыс. т нефти[\[17\]](#). Именно в устье р. Амбарная наблюдается высокая численность рыб, в первую очередь – планктофагов (ряпушка, сиг), а также питающихся ими хищников.[\[9\]](#)

Видовой состав и количественные характеристики зообентоса оз. Пясино и впадающих в него рек после разлива дизельного топлива исследованы С.П.Шулепиной и др.[\[47\]](#) Выявлены малое число видов, невысокие значения численности и биомассы бентофауны. В руч. Безымянном, устье р. Далдыкан и р. Амбарной по плотности доминировали олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri Claparede* и *Tubifex tubifex* (O. F. Müller). В оз. Пясино и истоке р. Пясины преобладали личинки ручейников, хирономид, веснянок, а также амфиоподы. На глубоководной заиленной станции оз. Пясино развились олигохеты *L. hoffmeisteri*, доля которых в составе бентофауны на этой станции (40 и 79 % общей биомассы и численности соответственно) была максимальна. По биомассе на этой станции доминировала амфиопода *Moporeia affinis* (Lindström). Отмечены снижение разнообразия хирономид, увеличение доли олигохет полисапробов, низкие значения индекса Шеннона в оз. Пясино в 2020 г. по сравнению с 1992 г. Невысокие средние величины численности и биомассы зообентоса в озере обусловили низкие величины продукции зообентоса и потенциальной продукции рыб-бентофагов. Показано улучшение качества воды по зообентосу от речных участков, подвергнутых разливу нефтепродуктов, к озеру и истоку р. Пясины.[\[47\]](#)

**Особенности техногеноценоза и его техногенной трансформации.** Ландшафты Норильской промышленной ЭГС представлены в основном лесотундрой. Типичная северная равнинная лесотундра зафиксирована в окрестностях г. Норильска, а также в долинах ряда рек (Норилка, Амбарная и др.). Дальше к северу, ближе к южным тундрам, находятся самые северные на планете лесные участки – урочище Ары-Мас и лесной массив на р. Лукунской. Сейчас они входят в состав крупнейшего в России биосферного заповедника «Таймырский». В 1995 г. государственному заповеднику «Таймырский» был присвоен статус биосферного резервата ЮНЕСКО. Таймырский биосферный резерват –

единственный в России из 47 таких, международно признанных территорий, расположенный в континентальной тундровой зоне. Наличие подобного резервата в тундровой зоне имеет большое значение, поскольку, на момент его создания, биота Арктики была наименее нарушена, хорошо изучена и могла служить эталоном для оценки естественного течения процессов.[\[33\]](#)

Л.Д. Гаврильева<sup>[\[7\]](#)</sup> привела результаты геоботанического обследования, которые проводились с целью оценки современного состояния растительности территории Томторского месторождения редкоземельных металлов и степени ее нарушенности на этапе геологоразведочных работ. Томторское месторождение находится на северо-западе Республики Саха (Якутия) в подзоне редкостойных притундровых лесов. От северотаежных лесов они отличаются угнетенностью древесного яруса, обедненностью видового состава. На этапе геологоразведочных работ основной формой воздействия на растительный покров является механическое нарушение: вырубка деревьев, расчистка и обустройство различных технологических объектов. Полное нарушение растительности отмечено на участках, отведенных под бурение скважин, оборудование вахтового поселка и нефтебазы, где растительный покров полностью уничтожен, частично погребен или подтоплен. При эксплуатации производственных и жилых объектов происходит дальнейшее разрушение или преобразование растительных сообществ. Частичное нарушение растительного покрова происходит после неоднократного проезда транспортных средств, когда в первую очередь повреждаются кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы, что приводит к деградации почвенно-растительного покрова и к обеднению биоразнообразия.[\[7\]](#)

Воздушные выбросы предприятий горнодобывающей промышленности г. Норильска содержат диоксид серы (сернистый газ) и переносятся на большие расстояния, выпадая в виде кислотных дождей. В местах постоянного образования дымового шлейфа растительный покров полностью деградирует. Постоянные кислотные дожди приводят к "сжиганию" растительного покрова. Площади, охваченные дымовым шлейфом г. Норильска, достигают громадных размеров - около 100-120 км в длину и 30-40 км в ширину. Часть нарушенных природных экосистем находится на необратимых стадиях вырождения.[\[41\]](#)

К химическому загрязнению Норильской промышленной ЭГС особенно чувствительны виды растений, играющие большую роль в растительном покрове тундры - водоросли, лишайники, мхи, а также многие арктические виды цветковых растений. Лишайники интенсивно накапливают загрязняющие вещества в длительно живущих тканях и первыми исчезают из экосистем в зоне влияния металлургических комбинатов и химических производств. Это ведет к обеднению и деградации тундровых экосистем.[\[41\]](#)

М.Ю. Телятников и С.А. Пристяжнюк<sup>[\[41\]](#)</sup> выделили зоны антропогенной трансформации растительного покрова, образовавшиеся в результате воздушных выбросов предприятий г. Норильска, а также стадии деградации растительных сообществ в них. Первая зона нарушенности Норильской промышленной ЭГС характеризуется тем, что растительный покров по структуре и флористическому составу, а также составу доминантов и содоминантов слабо отличается от естественной ненарушенной растительности.[\[41\]](#) Зона включает районы, непосредственно прилегающие к краевым частям воздушно-пылевого шлейфа предприятий г. Норильска. Во влажных и переувлажненных условиях местобитаний - сообществах болот, нивальных и субальпийских лугах, а также кустарниковых тундрах - состав и структура ценозов, особенности микрорельефа,

интенсивность криогенных процессов сходны с фоновыми показателями. В условиях сухих и дренированных местообитаний - дриадовых и кустарничково-лишайниковых тундрах - наблюдается снижение разнообразия лишайников на 10-20 %. Отмечаются растения с химическими ожогами отдельных частей.<sup>[41]</sup> Первая зона нарушенности протягивается от северной оконечности оз. Пясино к северо-западной части оз. Лама, далее до восточной оконечности оз. Кета поворачивает на запад и упирается в юго-западную часть Хантайского водохранилища.

Вторая зона включает территории Норильской промышленной ЭГС, испытывающие умеренное антропогенное влияние. Зона объединяет районы, непосредственно входящие в область распространения воздушно-пылевого шлейфа, исключая его центральную часть.<sup>[41]</sup> Для данной зоны характерны как антропогенно трансформированные растительные сообщества, площадь которых составляет от 10 до 20-40 %, так и мало трансформированные сообщества (они аналогичны сообществам первой зоны нарушенности). В трансформированных сообществах происходит существенное снижение роли лишайников и мхов и заметное увеличение роли травянистых растений. Степень трансформации растительных сообществ максимальна в сухих и дренированных условиях местообитаний и заметно снижена во влажных условиях. Поэтому совершенно не узнаваемы трансформированные сообщества кустарничковых и лишайниковых тундр, они сменяются хвощево-ивовой, кустарничково-злаковой и ивняково-злаковой стадиями деградации. Субальпийско-луговая и болотная растительность сохраняют общие черты с фоновыми аналогами, отличаясь снижением видового разнообразия и продуктивности. Зона влияния II тянется от средней части оз. Пясино к оз. Мелкое и через среднюю часть оз. Лама достигает северной оконечности Хантайского водохранилища, переходя на водоразделы южной части хребта Лонгтокойский Камень.<sup>[41]</sup>

Третья зона нарушенности Норильской промышленной ЭГС характеризуется отсутствием естественной растительности и замене ее различными сукцессионными стадиями деградации. Зона находится в центре области распространения воздушно-пылевого шлейфа и охватывает среднюю и северную части хребта Лонгтокойский Камень, долину р. Рыбная, начиная от южной оконечности оз. Пясино, и протягивается до оз. Кета и северной части Хантайского водохранилища.<sup>[41]</sup>

А.Г. Васильева и Н.К. Чирикова<sup>[41]</sup> рассмотрели ценопопуляционную изменчивость кедрового стланика по содержанию фенольных соединений в Оймяконском районе, по результатам количественного анализа фенольных соединений спиртовых экстрактов *Pinus pumila*, произрастающего в разных ценопопуляциях района. Вариации по накоплению суммы фенольных соединений в 4 образцах *P. pumila* находятся в пределах 24,95-33,93 %, флавоноидов - 0,953-1,28 %, фенилпропаноидов - 0,67-0,88 %, дубильных соединений - 23,94-25,56 %. В образце из ольховниково-багульниковой ассоциации, произрастающем на каменистой почве, было обнаружено наибольшее содержание фенольных соединений. Морфологические изменения *Pinus pumila* позволяют утверждать об оптимальных условиях произрастания данного вида в Оймяконском районе Якутии.<sup>[41]</sup>

Состояние лесных экосистем в зоне воздействия воздушных эмиссий Норильского горно-металлургического комбината рассмотрели Р.А.Зиганшин с соавторами<sup>[19]</sup> и дали оценку динамики состояния лесов за последние десятилетия в полосе от непосредственной близости до 200 км и более от комбината. Анализ проведен с учетом ландшафтной структуры территории. Отмечено прогрессирующее с начала 80-х гг. усыхание больших

массивов лесов. По литературным данным приводятся структура, динамика и распределение аэропромывбросов предприятий Норильской горно-металлургической компании «Норильский никель», а по данным авторов рассматривается воздействие аэропромывбросов Норильского промышленного района на лесные экосистемы Таймыра. Основное внимание уделено главной лесообразующей древесной породе – лиственнице сибирской *Larix sibirica* Ledeb. Отмечено полное отсутствие подроста лиственницы в зоне промышленного загрязнения. Изучение состояния техногенно поврежденных лесов проведено на основании дендрохронологических исследований в шести различных точках на разном расстоянии от г. Норильска, в основном южнее и восточнее металлургического комбината. Одна точка исследований (разреженное лиственничное сообщество) находится в 5 км северо-западнее Норильска. Исследовали насаждения разной степени поврежденности, в том числе полностью погибшие. Показано, что вне зоны влияния эмиссий Норильского комбината не отмечено признаков повреждения листвового аппарата деревьев, тогда как в зоне атмосферного загрязнения (оз. Хантайское) древостой в значительной степени пострадал. Главным повреждающим агентом служит двуокись серы.[\[19\]](#)

М.И.Соловьева и С.С. Кузьмина[\[37\]](#) рассмотрели влияние алмазодобывающей промышленности на накопление микроэлементов в лишайниках *Cladonia stellaris* (Opiz.) Brodo, *Cetraria coccifera* (Bellardi) Ach, собранных на прилегающих к трубке «Удачной» участках. Показано, что в лишайниках, произрастающих на расстоянии 2 км от трубы, наблюдается значительное превышение содержания микроэлементов V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb по сравнению с их фоновыми уровнями в лишайниках, собранных на участке в 20 км от трубы. При этом на участке в 20 км от трубы содержание всех элементов в обоих видах лишайников превышает предельно допустимые концентрации в растениях. В почве на участке в 2 км от трубы наблюдается повышенная аккумуляция этих элементов по сравнению с образцами с контрольного участка, хотя и с меньшей амплитудой, чем у лишайников. По коэффициенту биологического поглощения Перельмана элементы Zn, Pb, В, Cr, Mn, Mo, Cu обладают высоким уровнем биологического поглощения у исследуемых лишайников и определены как элементы сильного накопления, а элементы Ti, V, Co, Ga определены как элементы слабого накопления и среднего захвата.[\[37\]](#)

М. А. Чукаевой и др.[\[45\]](#) проведена оценка изменения фиторемедиационного потенциала бархатцев прямостоящих на сильноагрязненных почвах Норильска при использовании стрессопротекторных добавок в виде гуминовых кислот. Установлено, что бархатцы прямостоячие *Tagetes erecta* обладают высоким адаптационным и фиторемедиационным потенциалом и могут успешно применяться для очистки земель, загрязненных тяжелыми металлами, в городах и промышленных центрах российской Арктики. Применение слабой дозы гуминовых кислот приводит к повышению адаптационного потенциала бархатцев прямостоячих, выраженного в увеличении биомассы растений, выращенных на сильноагрязненных почвах, отобранных вблизи Норильска, уже на ювенильной фазе. При этом отмечено, что их фиторемедиационный потенциал, а именно фитоэкстракция тяжелых металлов, снижается незначительно. За счет образования хелатных комплексов данная малая доза гуминовых кислот проявляет себя в большей степени в отношении улучшения габитуса растений.[\[45\]](#)

В дальнейшем цикле роста эффект разбавления токсиканта может постепенно нивелироваться в результате постепенного нарастания биомассы растений и выноса токсикантов. Показана эффективность рекультивации техногенно нарушенных земель за

счет использования добавок в виде карбонатов и/или силикатов кальция и магния при выращивании злаков. Установлено, что применение 0,025% гуминовых кислот оказывает влияние на рост биомассы и снижение суммарного накопления тяжелых металлов в ней.[\[45\]](#)

При оценке долговременных последствий воздействия наземного транспорта на почвенно-растительный покров арктических ландшафтов следует учитывать, что мерзлотные почвы, формирующие почвенный фон Таймыра, независимо от генетической принадлежности, характеризуются низкой устойчивостью функционирования и уязвимостью к механическим воздействиям. Почвы, характеризующиеся невысокой влажностью и легким гранулометрическим составом, в меньшей степени подвержены радиальной механической трансформации, в отличие от перегнойных и торфяных почв. Ограничение передвижения наземного транспорта с целью сохранения уязвимых природных ландшафтов таймырских тундр рекомендуется устанавливать, опираясь не на значение массы транспортного средства, как это происходит в настоящее время, а на показатель удельного давления на грунт, которое должно ограничиваться интервалом 0,12-0,14 кг/см<sup>2</sup>. Этот показатель достижим для транспортных средств на шинах сверхнизкого давления и на воздушной подушке.[\[46\]](#)

Е.С.Кравчук с коллегами[\[26\]](#) провели оценку видового состава, численности, биомассы и пигментных характеристик фитоперифитона и фитопланктона оз. Пясино, впадающих в него водотоков (руч. Безымянный, реки Далдыкан, Амбарная, Норильская) и истока р. Пясины после техногенной аварии - разлива дизельного топлива в районе г. Норильска в мае 2020 г. Значительное снижение биомассы и изменение видовой структуры фитоперифитона при загрязнении нефтепродуктами выявлено только для участков вблизи от места разлива (р. Далдыкан и р. Амбарная ниже устья р. Далдыкан). Как отклик на механическую очистку береговой линии и высвобождение биогенов при разложении нефтепродуктов и отмерших организмов, ниже по течению в толще воды приустьевой зоны р. Амбарной отмечен массовый рост диатомовых и зеленых водорослей (*Tabularia tabulata*, *Spirogyra* sp.) и появление в составе планктона эвгленовых и криптофитовых водорослей - индикаторов органического загрязнения. Не обнаружено существенных изменений структурно-количественных показателей планктона оз. Пясино и р. Пясина по сравнению с данными, полученными во второй половине XX в. (задолго до аварии). Видовой состав и количественные характеристики планктона и перифитона, а также количество и соотношение пигментов фитопланктона оз. Пясино и р. Пясина были характерны для нормально функционирующего пресноводного сообщества олиготрофных вод. Все это указывает на незначительность негативного воздействия аварийного разлива нефтепродуктов на экосистемы оз. Пясино и р. Пясина.[\[26\]](#)

И.Ю.Кирцидели[\[21\]](#) рассмотрела влияние промышленного загрязнения тяжелыми металлами на сообщества микроскопических грибов в почвах близ Норильского комбината. Влияние выбросов Норильского металлургического комбината на почвенные микромицеты (микроскопические грибы) рассмотрены ею в естественных биоценозах лесотундры, практически не подвергающихся антропогенному воздействию, и на территориях, постоянно подвергающихся влиянию промышленных выбросов различной интенсивности: 1) средний уровень загрязнения естественных почв, 2) очень высокий уровень загрязнения естественных почв, 3) антропогенно-новообразованный почвенный горизонт.

Контрольные, незагрязненные участки характеризуются более низкой численностью

микромицетов (30 тыс. пропагул /1 г воздушно-сухой почвы) по сравнению с участками, подверженными влиянию антропогенного загрязнения. Численность микромицетов достоверно возрастает с увеличением антропогенной нагрузки на почву и достигает величины 117 тыс. пропагул/1 г воздушно-сухой почвы. В антропогенно новообразованном горизонте почвы также отмечается повышенная по сравнению с контролем численность почвенных микромицетов (92 тыс. пропагул/1 г воздушно-сухой почвы).[\[21\]](#)

Комплексы микромицетов контрольных почв лежат в зоне гомеостаза. Средний уровень загрязнения приводит к некоторой перегруппировке структуры комплексов микромицетов, встречаемость *Penicillium glabrum* резко убывает, *P.rupurescens* отсутствует полностью, а встречаемость *P.raistrickii* остается на прежнем уровне. Эти виды, преобладающие в контрольных почвах, имеют различную чувствительность к антропогенному загрязнению почвы тяжелыми металлами. Коэффициент сходства комплексов микромицетов, рассчитанный на основании показателей частоты встречаемости видов, во всех случаях превышал 50%. Несмотря на некоторые изменения комплексов микромицетов, полного изменения структуры сообщества не произошло, и комплексы микромицетов данных почв можно рассматривать как границу зоны гомеостаза и зоны стресса. Структура комплексов микромицетов естественных почв с очень высоким уровнем загрязнения изменяется весьма существенно. Виды, типичные для незагрязненных (контрольных) почв отсутствуют полностью, зато увеличивается встречаемость таких видов, как *Penicillium aurantiogriseum*, *P. lanosum*, *Cladosporium cladosporioides*. Коэффициент сходства между комплексами микромицетов, подвергающихся высоким дозам химического загрязнения, и комплексами микромицетов контрольных почв, как правило, не превышал 20%. Более 50% видов, выделенных из контрольных почв, не отмечаются даже с минимальной встречаемостью в почвах, подвергающихся очень высокому уровню химического загрязнения. Для данных комплексов микромицетов, из почв с очень высоким уровнем загрязнения, отмечено также снижение видового разнообразия. Однако полной смены видового состава еще не происходит, следовательно, эти комплексы микромицетов находятся на границе зоны стресса и резистентности.[\[21\]](#)

Почвенные микромицеты антропогенно новообразованного горизонта почвы, сформировавшиеся на основе естественных таежно-мерзлотных почв, претерпевают значительные изменения в течение длительного промежутка времени (более 50 лет). Они имеют низкие коэффициенты сходства с контрольными почвами (около 20 %). Лишь 8 видов микромицетов, выделенных из контрольных почв, отмечены с низкой частотой встречаемости в антропогенно новообразованном почвенном горизонте. Сходство комплексов микромицетов этого почвенного горизонта с естественными почвами, подвергающимися химическому загрязнению, значительно выше, но не превышает 40%. Для комплексов микромицетов в антропогенно новообразованном почвенном горизонте не отмечено снижение видового разнообразия. Данные комплексы микромицетов являются новыми хорошо адаптированными устойчивыми системами, приспособленными к данному антропогенно новообразованному горизонту почвы. При этом происходит последовательное увеличение фитотоксичности комплексов микромицетов (то есть способности подавлять развитие растений). Если в контрольных почвах эта величина составляет только 15%, то с увеличением антропогенной нагрузки она увеличивается до 30%, а в антропогенно новообразованном горизонте почвы составляет 40%.[\[21\]](#)

На основании исследований антропогенного загрязнения почв И.Ю.Кирцидели[\[21\]](#) установлены сходные тенденции изменений комплексов микроскопических грибов

полярных пустынь и подзон тундр. При сходных антропогенных воздействиях изменения проявляются в формировании сходных между собой комплексов микроскопических грибов. Их сходство выше, чем в ненарушенных почвах или в почвах интразональных растительных сообществ тех же районов. При высоких уровнях антропогенного воздействия на почву происходит изменение встречаемости отдельных видов и/или изменение видового состава. При антропогенном воздействии в почвах полярных пустынь и тундровой зоны наблюдается развитие видов не типичных для зональных почв арктических территорий, а также появление интродуцированных видов, характерных для более южных регионов по сравнению с зональными, например, грибов рода *Aspergillus*.

Показано увеличение меланинсодержащих грибов в антропогенно новообразованных почвах, где они составляют более 50%. С увеличением антропогенной нагрузки тяжелыми металлами на почву отмечается достоверное увеличение численности микромицетов в загрязненных почвах, снижение индекса видового разнообразия, увеличение доли фитотоксино-образующих видов, изменение состояния сообщества микромицетов до состояния стресса, которое имеет тенденцию к переходу в состояние резистентности. Сообщество микромицетов антропогенно новообразованного почвенного горизонта имеет наибольшие отличия от незагрязненных (контрольных), однако, оно находится в устойчивом состоянии и, по-видимому, хорошо адаптировано к высоким дозам тяжелых металлов, особенно никеля. [\[21\]](#)

## **Выводы**

1. Норильская промышленная эколого-геологических система (ЭГС) – это одна из самых крупных и самая экологически проблемная северная промышленная ЭГС в мире.
2. Температурный режим грунтов в центральной части г. Норильска за последние 70 лет характеризуется положительной динамикой среднегодовой температуры горных пород от  $-7$  до  $-3^{\circ}\text{C}$ .
3. Пальза (бугры пучения миграционного типа) обнаружены в самых северных районах, включая окрестности Норильска и даже в самых северных районах Таймыра. Крупные бугры пучения встречены на южной окраине Норильского плато в долине р. Турумакит, а также вблизи г. Дудинка.
4. Мощные сингенетические повторно-жильные льды встречены в разрезе высокой террасы мыса Саблера, в котловине оз. Лабаз, у мыса Сопочная Карга, близ Диксона.
5. Крупнейшая техногенная трансформация гидротопа связана с аварией в мае 2020 г. на ТЭЦ-3, в Норильске. Эта катастрофа стала одной из крупнейших в истории Арктики. Причиной аварии стало проседание резервуара из-за деградации мерзлоты, усугублённое отсутствием своевременного ремонта. Разлив дизельного топлива привёл к массовому загрязнению почвы и водных экосистем, уничтожению популяций рыб.
6. Развитие эдафотопа и его техногенная трансформация в пределах Норильской промышленной ЭГС протекает при активном влиянии криогенеза.
7. Ранее установлено, что распределение тяжелых металлов по профилю загрязненных почв меняется в зависимости от источника загрязнения. В случае преобладания аэротехногенного привноса загрязняющих веществ наблюдается один, ярко выраженный максимум в поверхностном органогенном горизонте, два максимума накопления тяжелых металлов в профиле почв наблюдаются вблизи объектов размещения отходов.
8. Техногенная трансформация микробоценоза Норильской ЭГС проявляется в низком

содержании микробной биомассы, в связи со слабым развитым растительным покровом в городе и высоким уровнем содержания тяжелых металлов и других загрязняющих веществ.

9. Техногенная трансформация зооценоза, наиболее сильно сказывается на численности тундровой популяции диких северных оленей, сокращающейся из-за перепромысла, браконьерской охоты и роста численности волка, а также строительства линейных сооружений и удлинения сроков навигации на реках.
10. Техногенная трансформация фитоценоза Норильской ЭГС объясняется слабо развитым растительным покровом в городе, неблагоприятными физико-химическими свойствами почвы и, прежде всего, высоким уровнем содержания тяжелых металлов и других загрязняющих веществ.

## **Библиография**

1. Антропоген Таймыра. М.: Наука, 1982. 184 с.
2. Безматерных Д.М., Пузанов А.В., Котовщиков А.В., Дроботов А.В., Толомеев А.П. Гидрохимические показатели качества воды Норило-Паясинской озерно-речной системы после разлива дизельного топлива на ТЭЦ-3 г. Норильска в 2020 г. // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 408-422. doi: 10.15372/SEJ20210402. EDN: QPRAHN.
3. Белорусова Ж.М., Украинцева В.В. Палеогеография позднего плейстоцена и голоцена бассейна р. Новой на Таймыре // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 3. С. 368-379.
4. Васильева А.Г., Чирикова Н.К. Ценопопуляционная изменчивость кедрового стланика по содержанию фенольных соединений в Оймяконском районе Республики Саха (Якутия) // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 5-8. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-5-8. EDN: CHWGWP.
5. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / Под редакцией действительного члена РАЕН профессора Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Московского ун-та, 2008. 571 с. EDN: QKHKJH.
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Репкина Т.Ю. Миграционные бугры пучения в заполярной части криолитозоны Средней Сибири // Инженерная геология. 2013. № 2. С. 28-45.
7. Гаврильева Л.Д. Воздействие геологоразведочных работ на растительность подзоны притундровых лесов // Проблемы региональной экологии. 2022. № 3. С. 28-31. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-5-28-31. EDN: ZFESRL.
8. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Е.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 414 с.
9. Гладышев М.И. Исследования биоразнообразия пресноводных экосистем, расположенных в зонах воздействия объектов ПАО ГКМ "Норильский никель" в 2022–2023 гг. Презентация работ в рамках проведения Большой Норильской экспедиции. 2023.  
[https://normickel.ru/upload/files/ru/research\\_on\\_biodiversity\\_of\\_freshwater\\_ecosystems.pdf](https://normickel.ru/upload/files/ru/research_on_biodiversity_of_freshwater_ecosystems.pdf).
10. Гололобова А.Г. Техногенное загрязнение почв в районе влияния Нюрбинского горно-обогатительного комбината (Западная Якутия) // Проблемы региональной экологии. 2021. № 5. С. 52-54. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-5-52-54. EDN: UOOTES.
11. Гололобова А.Г., Легостаева Я.Б. Экогеохимический мониторинг почвенного покрова на участках алмазодобычи в Западной Якутии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 12. С. 146-157. DOI: 10.18799/24131830/2020/12/2948. EDN: UVSYVJ.
12. Голубчиков М.Ю., Горлова Л.Г., Перминова Е.С. Исследование сезонного природно-техногенного гидролакколита в Норильском промышленном районе // Материалы третьей конференции геокриологов России. Т. 2. Ч. 3. Динамическая геокриология. М.: МГУ,

2005. С. 72-73.

13. Гребенец В.И., Стрелецкий Д.А., Шмелёв Д.Г., Шикломанов Н.И. Сравнительный анализ влияния ландшафтных условий на динамику сезонного протаивания грунтов (на примере исследований по международной программе CALM) // Материалы четвёртой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 7-9 июня 2011 г. Т. 2. 2011. С. 223-229. EDN: LCHKMZ.
14. Давыдов А.В., Моргунов Н.А., Чугреев М.К., Ткачева И.С. Северные олени Таймыра // Вестник АПК Верхневолжья. 2023. Т. 3(63). С. 5-20. doi: 10.35694/YARCX.2023.63.3.001. EDN: SJDPBW.
15. Данилов П.П., Саввинов Г.Н., Боескоров В.С., Алексеев И.И. О преобразовании северотаежных почв северо-западной Якутии // Проблемы региональной экологии. 2022. № 5. С. 82-87. doi: 10.24412/1728-323X-2022-5-82-87. EDN: OQXWUR.
16. Деревягин А.Ю., Чижов А.Б., Брезгунов В.С., Хуббертен Г.-В., Зигерт К. Изотопный состав повторно-жильных льдов мыса Саблера (оз. Таймыр) // Криосфера Земли. 1999. Т. 3. № 3. С. 41-49.
17. Дубовская О.П., Ёлгина О.Е., Морозова И.И. Зоопланктон оз. Пясино и впадающих в него рек после разлива дизельного топлива в 2020 г. // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 476-487. doi: 10.15372/SEJ20210406. EDN: ZUFNAO.
18. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Оценка техногенного воздействия на кислотно-щелочные свойства и гумусное состояние крупнобугристого торфяника долины р. Норильская // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтования. 2006. № 7. С. 149-159.
19. Зиганшин Р.А., Воронин В.И., Карбаинов Ю.М. Состояние лесных экосистем в зоне воздействия воздушных эмиссий Норильского горно-металлургического комбината. Сообщение 1 // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 47-59. DOI: 10.15372/SJFS20170305. EDN: ZDPCER.
20. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: Гос. изд-во географической литературы, 1948. 318 с.
21. Кирцидели И.Ю. Почвообитающие микроскопические грибы в экосистемах Арктики и Антарктики. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. СПб, 2020. 459 с. EDN: FTJWHO.
22. Колмакова О.В., Трусова М.Ю., Батурина О.А., Кабилов М.Р. Бактерии оз. Пясино и прилегающих рек после аварийного разлива дизельного топлива в 2020 г. // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 450-461. doi: 10.15372/SEJ20210404. EDN: MCZAFG.
23. Кондратьева К.А., Неизвестнов Я.В., Телепнев Е.В. Геокриологические условия Таймырского региона // Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М., Недра, 1989. С. 140-146.
24. Корнейкова М.В., Салтан Н.В., Козлова Е.В., Васильева М.В., Давыдова П.Д., Бережной Е. Микробные сообщества городских почв Норильской агломерации // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 3. С. 431-446. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-431-446. EDN: BVDKCD.
25. Котов П.И., Пряницкий А.В., Кунчулия Г.М. Динамика температурного режима многолетнемерзлых грунтов в глубоких скважинах центральной части города Норильска // Криосфера Земли. 2025. № 1. С. 3-13. DOI: 10.15372/KZ20250101. EDN: JPHNKH.
26. Кравчук Е.С., Котовщикова А.В., Иванова Е.А. Характеристика фитопланктона и фитоперифитона оз. Пясино и его притоков после аварийного разлива нефтепродуктов 2020 г. // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 462-475. doi: 10.15372/SEJ20210405. EDN: WTZECW.
27. Кручинин Ю.А. Физико-географическое районирование Северного Таймыра. Л.:

- Гидрометеоиздат, 1973 (Труды ААНИИ, том 318).
28. Ксенофонтова М.И. Трансформация химического состава поверхностных вод в зоне деятельности горно-обогатительного комбината на северо-востоке Якутии // Проблемы региональной экологии. 2021. № 5. С. 92-95. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-5-92-95. EDN: JQYTMZ.
29. Кудряшов С.В. Оценка и нормирование экологического состояния почв Норильского промышленного района / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М., 2010. 24 с. EDN: QEPK BX.
30. Миронова С.И., Капелькина Л.П. Нормативные основы и региональные подходы к рекультивации земель, нарушенных при разработке алмазных месторождений Якутии // Проблемы региональной экологии. 2022. № 3. С. 49-53. doi: 10.24412/1728-323X-2022-5-49-53. EDN: MIPDFU.
31. Орлов М.В. Характеристика почвенного покрова заповедника "Таймырский" // Научные труды Федерального государственного бюджетного учреждения "Объединённая дирекция заповедников Таймыра" / отв. ред. Л.А. Колпащиков, А.А. Романов. Норильск: АПЕКС, 2015. С. 103-112.
32. Петров А.А. Молодые почвы, сформированные на отвалах вскрышных пород разработки коренных месторождений алмазов на северо-западе Якутии // Проблемы региональной экологии. 2022. № 5. С. 78-81. doi: 10.24412/1728-323X-2022-5-78-81. EDN: HGCECW.
33. Поспелов И.Н., Бондарь М.Г., Колпащиков Л.А., Поспелова Е.Б. История и современное состояние биосферных особо охраняемых природных территорий Таймыра // Вопросы географии. 2021. Сб. 152. С. 429-457. doi: 10.24057/probl.geogr.152.16. EDN: SOBLAD.
34. Прокудин А.В., Чысыма Р.Б., Сергеева О.К. Репродуктивные и морфометрические показатели популяций мышевидных грызунов на территории Норило-Пясинской экосистемы полуострова Таймыр // Экология урбанизированных территорий. 2024. № 3. С. 35-41. doi: 10.24412/1816-1863-2024-3-35-41. EDN: VGFRXC.
35. Сакс В.Н. Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея // Проблемы Арктики. 1940. № 1. С. 62-79. EDN: UJSPGL.
36. Систематика эколого-геологических систем / Королев В.А., Трофимов В.Т. М.: ООО СамПолграфист, 2025. 120 с.
37. Соловьева М.И., Кузьмина С.С. Влияние алмазодобывающей промышленности на элементный состав лишайников // Проблемы региональной экологии. 2020. № 3. С. 18-22. doi: 10.24411/1728-323X-2020-13018. EDN: OYVVWP.
38. Сысо А.И., Соколов Д.А., Сиромля Т.И., Ермолов Ю.В., Махатков И.Д. Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра // Почвоведение. 2022. № 5. С. 521-537. doi: 10.31857/S0032180X22050082. EDN: TWYXFU.
39. Таймыро-Североземельская область. (физико-географическая характеристика) / Под ред. Р.К. Сиско. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 374 с.
40. Таран О.П., Скрипников А.М., Ионин В.А., Кайгородов К.Л., Кривоногов С.К., Добрецов Н.Н., Добрецов В.Н., Лазарева Е.В., Крук Н.Н. Состав и концентрация углеводородов донных отложений в зоне разлива дизельного топлива ТЭЦ-3 АО "НТЭК" (г. Норильск, Арктическая Сибирь) // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 423-449. doi: 10.15372/SEJ20210403. EDN: ZQNTGE.
41. Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тунды и лесотунды // Сибирский экологический журнал. 2014. № 6. С. 903-922. EDN: TAKBRR.
42. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48-52. EDN: KXRTUF.

43. Фотиев С.М., Данилова Н.С., Шевелева Н.С. Геокриологические условия Средней Сибири. М.: Наука, 1974. 148 с.
44. Чижов А.Б., Деревягин А.Ю., Симонов Е.Ф., Хуббертен Х.-В., Зигерт К. Изотопный состав подземных льдов района оз. Лабаз (Таймыр) // Криосфера Земли. 1997. Т. 1. № 3. С. 79-84.
45. Чукаева М.А., Пухальский Я.В., Лоскутов С.И. и др. Оценка изменения фитоэкстракции тяжелых металлов бархатцами прямостоячими (*Tagetes erecta*) из загрязненных почв Норильска при использовании гуминовых добавок // Арктика: экология и экономика. 2024. Т. 14, № 1. С. 90-102. doi: 10.25283/2223-4594-2024-1-90-102. EDN: SFVXPF.
46. Шарафутдинов Р.А., Борисова И.В., Гавриков В.Л., Пыжев А.И., Митев А.Р., Захаринский Ю.Н. Об изменении подходов при введении ограничений на передвижение наземной техники в арктической зоне Красноярского края в бесснежный период // Проблемы региональной экологии. 2022. № 6. С. 119-126. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-119-126. EDN: NOGUNQ.
47. Шулепина С.П., Дубовская О.П., Глущенко Л.А., Гладышев М.И. Зообентос оз. Пясино и прилегающих рек после аварийного разлива дизельного топлива в 2020 г. // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 4. С. 488-498. doi: 10.15372/SEJ20210407. EDN: EEJLPA.
48. Шумилова Л.В. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края // Изв. Томского отделения Русского ботанического общества. 1931. Т. 3. С. 1-13.
49. Alexanderson H., Adrielsson L., Hjort C., Möller P., Antonov O., Eriksson S., Pavlov M. Depositional history of the North Taymyr ice-marginal zone, Syberia – a landsystem approach // Journal of Quaternary Science. 2002. Vol. 17. N 4. P. 361-382. DOI: 10.1002/jqs.677. EDN: KEFMAQ.
50. Streletskaia I., Vasiliev A., Meyer H. Isotopic composition of syngenetic ice wedges and palaeoclimatic reconstruction, western Taymyr, Russian Arctic // Permafrost and Periglacial Processes. 2011. Vol. 22, Iss. 1. P. 101-106. doi: 10.1002/ppp.707. EDN: OHYVJJ.
51. Vasil'chuk Yu. K. Syngenetic ice wedges: cyclical formation, radiocarbon age and stable-isotope records // Permafrost and Periglacial Processes. 2013. Vol. 24. N1. P. 82-93. doi: 10.1002/ppp.1764. EDN: RFGMTP.
52. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. The 14C Age of Palsas in Northern Eurasia // Radiocarbon. 1998. Vol. 40. N 2. P. 895-904. DOI: 10.1017/s0033822200018865 EDN: LFBHAP.

## **Результаты процедуры рецензирования статьи**

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

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

Предмет исследования являются, по мнению автора, определение геокриологических особенностей Норильской промышленной эколого-геологической системы - крупнейший промышленный загрязнитель Арктики, и ее техногенное воздействие для реализации возможных вариантов снижения экологического вреда и ее использование.

Методология исследования, исходя из анализа статьи можно сделать вывод о том, что автором статьи использовался метод анализ литературных данных, реферрирование и конспектирование. В тексте есть ссылка на авторское указания фотографии, однако сделать вывод о авторском вкладе не представляется возможным. Используется метод описания компонентов в связи с планом географической характеристики, есть констатация воздействие на окружающую среду отдельных антропогенных факторов,

однако отсутствие четко сформулированные выводы.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении информации о процессах, которые происходят при антропогенном воздействии на окружающую среду в арктических регионах, негативно влияющих на нее. Среди промышленных эколого-геологических систем в криолитозоне России особо выделяется Норильская промышленная ЭГС, поскольку, во-первых, это одна из самых крупных северных промышленных ЭГС в мире, а, во-вторых, это одна из самых экологически проблемных промышленных ЭГС. В этой связи исследования данного региона является весьма актуальным.

Научная новизна заключается в попытке автора в получении функциональных зависимостей для определения компонентов экологической системы и влияние на них антропогенной деятельности различного рода в связи с эксплуатацией промышленных объектов Норильская промышленная эколого-геологических система (ЭГС).

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим механизм влияния характеристик на окружающую природную среду .

Рассматривая норильскую антропогенную геоэкологическую систему в начале статьи, автор приводит описание региона, не относящееся к предмету исследования . В частности он рассматривает Кимберлитовая трубка «Мир» - самое богатое алмазное месторождение на планете. Диаметр воронки составляет 1,2 км, глубина – 525 м. (Рис. 16.). Автор статьи вводит аббревиатуру не давая её расшифровку (Норильская промышленная ЭГС), лишь в выводах давая расшифровку аббревиатуры. В выводах автор делает акцент на влияние литологический и биологические компоненты, которые загрязнением атмосферного воздуха в районе Норильска связаны слабо. В целом статья представляется эклектичной с точки зрения характеристики компонентов и выводов, требует систематизации. Для лучшего восприятия материалов статьи необходимо провести выделения цели и задачи, методов исследования, результатов исследования и выводов полученных непосредственно при их реализации.

Библиография обширна для постановки рассматриваемого вопроса, однако не содержит ссылки на нормативно-правовые акты.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся у автора статья информации, полученной в результате анализа литературных источников и собственных исследований.

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

## **Результаты процедуры повторного рецензирования статьи**

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

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

Рецензия на статью "Норильская промышленная эколого-геологическая система, ее геокриологические особенности и техногенное воздействие на нее"

Предметом исследования рецензируемой статьи является являетсѧ определение особенностей Норильской промышленной эколого-геологической системы - крупнейшего промышленного загрязнителя Арктики, с акцентом на геокриологические условия, и влияние на компоненты экологической системы антропогенной деятельности в связи с эксплуатацией промышленных объектов Норильской эколого-геологической системы.

Объект исследования – промышленная эколого-геологическая система Норильска,

представленная литотопом многолетнемерзлых пород, вмещающие мощные повторно-жильные льды, сегрегационный лед и лед-цемент, осложненная буграми пучения типа пальза.

Методология исследования включает: методы сравнительного анализа, наблюдение, синтез, дедукция, анализ научной литературы и другие.

**Актуальность исследования.** Актуальность рецензируемой работы определяется прежде всего растущей необходимостью в решении экологических вопросов в арктических регионах Российской Федерации с учетом их особой стратегической значимости для развития страны. Арктика вместе с субарктическими территориями, частично включающими таежные зоны, играет существенную роль в экологическом равновесии Северного полушария: является регулятором кислорода и метана и районом, где проходят глобальные атмосферные процессы. Несмотря на ликвидацию многих источников загрязнения в постсоветское время, арктическое побережье до сих пор остается экологически неблагополучным районом, не менее 15 % площади которого на начало 2010-х гг. имело критический уровень загрязнения (Бурцева Е.И., Петрова А.Н. Экологические проблемы северных территорий Якутии в условиях промышленного освоения и глобального потепления // Успехи современного естествознания. - 2017. - № 5. - С. 83-88.).

Что касается эколого-геологических систем, то они представляют собой сложные, многофакторные динамические образования, изменяющиеся под влиянием природных и техногенных процессов (Трофимов В.Т. Эколого-геологические системы и новая структура экосистемы // Геология, география и глобальная энергия. 2010. № 1. С. 6-26.). Техногенные эколого-геологические системы включают в свой состав природные и техногенные объекты (отдельные строения, комплексы зданий и т. д., образующие единые технические системы) и с точки зрения интенсивности воздействия на окружающую природную среду представляют особый интерес (Шарапов, Р. В. Размышления об эколого-геологических системах / Р. В. Шарапов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, № 3. – С. 918-922.). Изучение экологических условий и экологической геодинамики природных систем диктуется необходимостью прогнозировать экологические последствия промышленного освоения и развития территорий (Жуков, С. А. Некоторые аспекты методологии исследований эколого-геологических систем / С. А. Жуков, И. И. Косинова, В. С. Стародубцев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2008. – № 1. – С. 141-146.).

Содержание статьи соответствует ее названию.

Текст рецензируемой статьи изложен в рамках научного стиля. Статья структурирована и включает в себя разделы: аннотацию, введение (объект, актуальность и цель исследования) метод исследования, обсуждение результатов исследования, выводы, библиографию. Структура рецензируемой статьи соответствует ее содержанию. Выводы исследования убедительно аргументированы и находятся в полном соответствии с содержанием текста статьи.

Используемые в тексте статьи литературные источники полностью отражены в библиографии и адекватны теме исследования, его цели и задачам.

Научная новизна исследования, по моему мнению, заключается в комплексном анализе Норильской промышленной эколого-геологической системы, некоторых ее геокриологических особенностей и техногенного воздействия на нее: развитие эдафотопа и его техногенная трансформация; техногенная трансформация микробоценоза, зооценоза, фитоценоза.

Практический интерес к рецензируемой статье может быть обусловлен представленными авторами данными о том, что распределение тяжелых металлов по профилю

загрязненных почв меняется в зависимости от источника загрязнения. В случае преобладания аэробиогенного привноса загрязняющих веществ наблюдается один, ярко выраженный максимум в поверхностном органогенном горизонте, два максимума накопления тяжелых металлов в профиле почв наблюдаются вблизи объектов размещения отходов.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что рецензируемая научная статья может быть опубликована в научном журнале «Арктика и Антарктика».