

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 1 / 2025, Vol. 12, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/02NZOR125.pdf>

DOI: 10.15862/02NZOR125 (<https://doi.org/10.15862/02NZOR125>)

1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Исламгалиев, С. Н. Современные способы рекультивации загрязненных земель и водоёмов в условиях криолитозоны на примере Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа / С. Н. Исламгалиев, В. Е. Пинаев // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/02NZOR125.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR125.

For citation:

Islamgaliev S.N., Pinaev V.E. Modern methods of remediation of contaminated lands and water bodies in cryolithozone conditions on the example of Nadym district of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(1): 02NZOR125. Available at: <https://resources.today/PDF/02NZOR125.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR125. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 502

Исламгалиев Сергей Нариманович¹

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

E-mail: islamgaliyev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9639-9155>

Пинаев Владимир Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

Доцент Департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции

Кандидат экономических наук, доцент

E-mail: pinaev-ve@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8943-5462>

ИСТИНА: <https://istina.msu.ru/workers/165381869/>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=408706

Современные способы рекультивации загрязненных земель и водоёмов в условиях криолитозоны на примере Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа

Аннотация. Расположенный на севере Западной Сибири в условиях сурового климата и вечной мерзлоты полуостров Ямал обладает не только уникальным климатогеографическими характеристиками, но и крупнейшими в мире залежами природного газа, нефти, а также, а также полезными ископаемыми (камень, глина, пески).

Полуостров располагается на территории Ямало-Ненецкий автономного округа, в самом центре российской Арктики, где ежегодно добывается до 80 % отечественного природного газа, обеспечивая тем самым энергетическую безопасность страны, её устойчивое и экономическое развитие. В настоящее время на территории округа значительная часть земель используется предприятиями топливно-энергетического комплекса для добычи природных ресурсов, однако такая деятельность объективно сопряжена с созданием масштабной инфраструктуры, включая применение тяжелой техники для строительства дорог, трубопроводов, производственных и

¹ <https://vk.com/islamgaliyev>

складских помещений, а также иных объектов промышленности, что в свою очередь неизбежно приводит к негативным последствиям для окружающей среды. Нарушения почвенного покрова, загрязнение почвы и водоёмов углеводородами, а также тяжелыми металлами требует проведения комплексных мероприятий направленных на восстановление нарушенных территорий с целью минимизации техногенного воздействия.

В статье рассмотрены существующие методы рекультивации нарушенных земель на примере Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа, оценивается эффективность их применения, проблемы, обусловленные суровыми климатическими и природными условиями, а также перспективы применения современных способов в условиях криолитозоны исследуемого района.

Ключевые слова: рекультивация; криолитозона; вечная мерзлота; Ямало-Ненецкий автономный округ; Надымский район; устойчивое развитие; биоремедиация; техногенное воздействие на почвы; гумат калия

Введение

Актуальность выбранной темы заключается в том, что почва является невозобновляемым природным ресурсом, от состояния которого зависит не только экологическая устойчивость, но и благополучие населения в целом. Необходимость сохранения почв и восстановления нарушенных земель является одним из приоритетных задач на уровне государственной стратегии, поскольку деградация земель оказывает негативное воздействие на все сферы жизни.

В условиях активной хозяйственной деятельности и техногенной нагрузки вопрос рационального использования и защиты земельных ресурсов становится неотъемлемой частью политики устойчивого развития любого современного государства. Текущие темпы добычи полезных ископаемых на территории Ямало-Ненецкого автономного округа оказывают значительное негативное воздействие на почвы и являются основной причиной их деградации и загрязнения [1]. Кроме того, до 70 % существующей инфраструктуры в районах вечной мерзлоты, включая Ямало-Ненецкий автономный округ, находится в зоне высокого риска из-за таяния верхних слоёв мерзлоты, что может привести к значительному повреждению объектов транспортной и нефтегазовой инфраструктуры, в связи с чем требуется внедрение эффективных мер по защите и восстановлению земель [2].

Как следует из доклада Департамента природных ресурсов и экологии Ямало-Ненецкого автономного округа от 27.07.2024² общая площадь нарушенных земель на территории округа по состоянию на 01.01.2024 составляет 105,4 тыс. га, в том числе на землях сельскохозяйственного назначения — 63,0 тыс. га, на землях населенных пунктов — 1,0 тыс. га, на землях промышленности — 39,9 тыс. га, на землях запаса — 1,5 тыс. га. Основным объём нарушений почвенного покрова приходится на разработку месторождений полезных ископаемых.

В этой связи институту рекультивации отводится колоссальная роль как единственному из возможных способов нивелировать последствия хозяйственной деятельности и обеспечить восстановление земель до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием.

Однако процесс восстановления земель в условиях криолитозоны осложняется суровым климатом, низкими температурами и коротким вегетационным периодом.

² Департамент природных ресурсов и экологии Ямало-Ненецкого автономного округа: Официальный сайт [Электронный ресурс] / Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе — режим доступа: <https://dpr.ymn.ru/documents/other/357052/> (дата обращения: 26.11.2024).

Характеристика основных природных условий Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

Климат района умеренный, континентальный, определяется многолетней мерзлотой, близостью холодного Карского моря и наличием обилия рек, болот и озёр. Зимы в регионе отличаются суровостью, холодом и длительностью, в то время как лето короткое, но достаточно теплое. Переходные сезоны — осень и весна — также кратковременны. Часто наблюдаются как поздние заморозки весной, так и ранние осенние заморозки, а также резкие колебания температур на протяжении года и даже суток.

Данные для климатического анализа взяты с опорной метеостанции в поселке Ямбург. Средняя годовая температура воздуха составляет около минус 7,8°C. Самым холодным месяцем является январь со среднемесячным значением минус 25,7°C. В июле, самом теплом месяце года, средняя температура достигает плюс 14,5°C. Продолжительность вегетационного периода определяют по времени, когда средняя суточная температура преодолевает отметку 5,0°C до наступления первых осенних заморозков. Согласно многолетним наблюдениям, этот переход обычно происходит около 11 июня. Если принять во внимание, что первый осенний заморозок наблюдается на поверхности почвы 7 сентября, то можно предположить, что вегетационный период составляет примерно 90 дней. С июня до первой декады сентября запасы тепла и влаги будут способствовать полноценному росту и развитию растительности.³

Рельеф данной территории преимущественно равнинный и включает в себя тундру и лесотундру, обильно усеянные озерами, а также полигональными и бугристыми олиготрофными болотами. Поверхность слабонаклонена на северо-запад в сторону Обской губы и изрезана густой сетью оврагов, ложбин и мелких речных долин.



*Рисунок 1. Растительность и рельеф местности
на примере п. Ямбург Надымского района (фото автора)*

³ ООО «Газпром добыча Ямбург», проект рекультивации нарушенных земель «Обустройство Харвутинской площади Ямбургского ГКМ» Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа, — С. 163.

В соответствии с флористическим районированием Надымский район располагается в Ямало-Гыданской подпровинции Европейско-Западносибирской провинции Арктической флористической области.

В тундре, среди редких елово-лиственничных лесных участков, которые, как правило, расположены вдоль рек и ручьев, основной компонент растительного покрова составляют мхи и лишайники. Здесь можно встретить такие виды, как карликовая береза, кустарниковая ольха, багульник и голубика.

В южной части речных долин формируются заросли высоких кустарников, таких как ольха, предпочитающая глинисто-илистые субстраты, и ива, растущая на песчаных грунтах. По поймам рек и надпойменным террасам встречаются редколесья лиственницы.

Болота располагаются как в поймах рек, так и на водоразделах. Низинные травяно-моховые болота характерны для речных долин, котловин и слабодренированных низин водоразделов. Полигональных болот в этой местности значительно больше, чем в северных тундрах, также встречаются обширные плоскобугристые болота. Нередко формируются тундрово-болотные и болотно-тундровые комплексы.

Наиболее распространенным типом растительности на исследуемой территории являются низкокустарниковые, ерниковые, кустарничковолишайниковые, бугорковатые тундры, которые занимают плоские и слегка волнистые пространства водораздела, сложенные песчаными и супесчаными породами.

В тундровой зоне почвы в основном представлены торфяно-глеевыми образованиями. В водораздельных областях сильно развиты болотные торфяные почвы, которые встречаются в сплошных массивах. В лесных массивах преобладают подзолистые и глеево-подзолистые почвы, образованные на песчаных и супесчаных субстратах.

Что касается гидрографии, то речная система Надымского района отличается богатством и разнообразием. В ее состав входят многочисленные заливы и губы, реки и немногочисленные ледниковые озера, а также узкие протоки в плоских равнинах и подземные воды. Вдоль рек можно встретить временные водные потоки, напоминающие овраги, которые заросли тундровой растительностью. Поймы рек сильно заболочены и изрезаны множеством стариц и протоков, а поверхность болотных массивов обычно слегка выпуклая. Река Надым является ближайшим значимым водным объектом в этом районе.

Современные способы рекультивации нарушенных земель на примере Надымского района ЯНАО

В настоящее время как на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в целом, так и на территории муниципального округа Надымский район активно реализуется утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.08.2002 № 1225-Р Экологическая доктрина, направленная на обеспечение устойчивого природопользования. С этой целью в регионе внедряются современные методы управления экологическими рисками, в том числе разработка и реализация программ по восстановлению нарушенных земель и водоёмов, строгий контроль за обращением с отходами производства и потребления, а также проведение государственной экологической экспертизы проектов, связанных с разработкой месторождений. Особое внимание в регионе уделяется институту рекультивации земель, что закреплено в ряде нормативно-правовых актов.

Так, на региональном уровне действует Постановление Правительства ЯНАО от 30.12.2013 № 1044-П «О порядке проведения рекультивации земель», устанавливающее регламент и правила проведения мероприятий по восстановлению нарушенных земель. С

целью снижения уровня антропогенной нагрузки, загрязнения воздуха, восстановлению лесов и защите водных ресурсов в регионе действует распоряжение Губернатора ЯНАО от 27.06.2022 № 334-р «О мерах по реализации национального проекта 'Экология'». Наряду с этим на территории округа ведётся активная работа по мониторингу состояния окружающей среды, включая использование автоматизированных систем контроля за уровнем антропогенной нагрузки на почвы, водоёмы, в том числе при осуществлении предприятиями ТЭК лицензионной деятельности по добыче природного сырья.

На уровне местного законодательства постановлением Администрацией Надымского района от 25.11.2020 № 82 утверждена программа охраны окружающей среды на 2021–2024 годы, устанавливающая приоритетные направления по сохранению экологического баланса на территории муниципального округа Надымский район.

С целью упорядочивания процедуры рассмотрения и утверждения проектов рекультивации земельных участков на территории муниципального округа Надымский район разработано и утверждено Постановление Администрации Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа от 08.10.2024 № 453-пкз «Об утверждении административного регламента Администрации Надымского района по предоставлению муниципальной услуги «Согласование проекта рекультивации земель, за исключением земель, относящихся к категориям земель лесного фонда, земель водного фонда, до его утверждения, за исключением случаев подготовки проекта рекультивации в составе проектной документации на строительство, реконструкцию объекта капитального строительства и случаев, установленных федеральными законами, при которых проект рекультивации земель до его утверждения подлежит государственной экологической экспертизе».

Проекты рекультивации земель, нарушенных при размещении отходов I–V классов опасности, и земель, используемых, но не предназначенных для размещения отходов I–V классов опасности подлежат государственной экологической экспертизе на основании подпункта 7.2 ст. 11 Федерального закона от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе». Иные проекты рекультивации земель, которые разработаны в виде отдельных документов, подлежат согласованию с правообладателями земельных участков, а также с органами исполнительной власти и органами местного самоуправления, в случае проведения рекультивации земель и земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности.⁴

Сохранение и использование плодородного (почвенно-растительного) слоя почв для рекультивации нарушенных в результате строительства и эксплуатации линейных объектов является первоочередной задачей рационального использования почвенного плодородия в условиях тундры, где процессы создания почвенного покрова идут очень медленно, и для восстановления его на нарушенных территориях необходим весьма длительный период [3].

Причина медленного восстановления почв в условиях криолитозоны связана с низкой биологической активностью, суровым климатом и спецификой почвенного покрова. В таких условиях процессы разрушения углеводов происходят крайне медленно, что обусловлено доминирующим влиянием физико-химических факторов, а не биологической активности микроорганизмов. Это подчёркивает необходимость разработки и внедрения специальных методов биоремедиации, которые учитывают особенности вечной мерзлоты и могут эффективно ускорить процессы восстановления почвенного покрова [4].

⁴ Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Письмо от 27 июля 2018 г. N PH-09-01-36/15783. URL https://rulaws.ru/acts/Pismo-Rosprirodnadzora-ot-27.07.2018-N-RN-09-01-36_15783.

К данной территории в основном не применимы основные положения в области рекультивации земель, которые разработаны в целом для Российской Федерации. Технический этап рекультивации, который в обычных условиях включает снятие, складирование и последующее использование плодородного слоя почвы в условиях криолитозоны с крайне медленным процессом почвообразования исключает возможность выполнения таких действий, в частности, указанные снятие плодородного слоя почвы, может привести к резкой интенсификации неблагоприятных процессов (термокаст, термоэрозия, солифлюкция, криогенное пучение) [5]. Наибольшая опасность возникает при удалении мохового покрова, ежегодный прирост которого составляет до 2 см.

Таким образом, снятие почвенного покрова в условиях вечной мерзлоты является недопустимым и ведёт к необратимым изменениям мерзлотных рельефообразующих процессов [6].

Для проведения рекультивации земель в условиях вечной мерзлоты необходимо свести к минимуму техногенное воздействие на замёрзшие грунты. Чтобы избежать негативных последствий, необходимо сохранять устойчивость мерзлых пород и ограничивать использование тяжелой техники на участках с повышенной влажностью. При этом все работы должны выполняться с соблюдением природоохранных норм и правил.

Анализ современных методов рекультивации нарушенных земель и водоемов в природно-климатических условиях крайнего севера показал, что в случае нарушения почвенного покрова на таких территориях начинает формироваться вторичный растительный покров (вторичная сукцессия), состоящий из злаковых и осоковых растений и зеленых мхов. После завершения технического этапа рекультивации земель формируется растительный покров из мхов, лишайников, морошки и кустарников.

Этап биологической рекультивации считается завершенным, если покрытие почвы растительностью, не имеющей признаков повреждения, во второй половине вегетационного периода достигает 70 % и более. Непременным условием создания устойчивого дернового покрова путём посева трав является контроль качества в процессе посева, прорастания семян и их зимовки. При обнаружении дефектных мест с неудовлетворительным зарастанием нужен повторный засев. В этой связи засев рекультивируемого земельного участка в условиях крайнего севера рекомендуется выполнять в трехкратной повторности, с перерывом между обработкой около 10 дней. При загрязнении земельного участка нефтепродуктами готовят раствор биопрепарата нефтеокисляющего действия для быстрого очищения почв, ускорения биodeградации нефтепродуктов. Изобретение относится к биотехнологии и содержит биомассу штаммов бактерий: *Pseudomonas* sp. ВКМ В-2387Д, *Pseudomonas putida* ВКМ В-2380Д, *Rhodococcus* sp. ВКМ Ас-2532Д и *Rhodococcus* sp. ВКМ Ас-2533Д. Анализ степени разложения нефтепродуктов в жидкой среде показал высокую эффективность бактерий. Наиболее высокая степень разложения была отмечена у *Pseudomonas putida* (55 %) по сравнению с *Bacillus cereus* (40 %) [7].

Одним из широко используемых препаратов с для этих целей является биогеосорбент для рекультивации «Геолекс». Так, для однократной обработки земельного участка площадью 1,019 га используют 30,57 кг вещества, из расчёта 30 кг/га. Для приготовления раствора биопрепарата используют природную воду. В соответствии с проектными решениями, для обработки биопрепаратом, используют 91 710 л воды на участок. Также проводится аэрация раствора в течение 30 минут. После вышеуказанных процедур производят внесение минеральных удобрений, предполагающее обеспечение нефтеокисляющих микроорганизмов усвояемыми формами азота, фосфора, калия. В целях увеличения плодородия почвы, принято внесение нитроаммофоски ручным способом, перед каждым этапом обработки раствором препарата-деструктора в объеме 92 кг/га. Всего вносят 276 кг нитроаммофоски [8].

Также известно, что для ускорения разложения нефти и для восстановления загрязненных нефтью земель в особых условиях лесотундрово-северотаежной зоны необходимо вносить НРК, фрезеровать на глубину до 25 см, проводить известкование, затем вносить культуры с нефтеокисляющими бактериями, создавать искусственный рельеф для ускорения зарастания гидрофильными растениями и проводить засыпку торфяной залежи слоем свежего торфа [9].

В настоящее время продолжаются поиски и разработки эффективных комплексных мероприятий, направленных на рекультивацию нефтезагрязненных земель. В этой связи необходимо отметить исследование биологов из Института микробиологии РАН и РУДН, выявивших в 2024 году уникальную способность бактерий из родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter* и *Sphingomonas* адаптироваться к суровым условиям Арктики, включая холодный климат и высокие концентрации нефтепродуктов. Эти микроорганизмы способны расти в условиях вечной мерзлоты и разлагать углеводороды нефтяного происхождения. В перспективе их использование может стать основой для биоремедиации северных регионов, обеспечивая самоочищение почв и минимизируя последствия загрязнения [10]. Ранее использование биопрепаратов для рекультивации, таких как «Геолекс», основывалось на применении штаммов бактерий, включая *Pseudomonas* и *Rhodococcus*, которые эффективно разлагали углеводороды в более мягких условиях. Отличие нового исследования заключается в том, что штаммы, включая *Sphingomonas* sp. AR_OL41, были выделены из загрязнённых почв Арктики и адаптированы к экстремально низким температурам. Уникальность и значимость данного открытия заключается в том, что исследование важно для разработки новых методов биоремедиации в условиях вечной мерзлоты, где традиционные технологии очистки неэффективны. Геномный анализ микроорганизма показал наличие генов, отвечающих за адаптацию к холоду, включая защиту от замерзания, регуляцию мембранных липидов и синтез экзополисахаридов. Способность микроорганизма *Sphingomonas* sp. AR_OL41 адаптироваться к экстремально низким температурам открывает перспективы для создания более эффективных и экологически безопасных подходов для рекультивации нефтезагрязненных земель в условиях криолитозоны.

Одной из наиболее сложных экологических проблем, связанных с разработкой месторождений полезных ископаемых, является восстановление земель с высоким содержанием солей (преимущественно солей натрия и различных хлоридов), содержащихся в нефти и высокосолёных донных водах. Накопление ионов K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} приводят к уплотнению и деградации почвенного покрова. В воде хлорид-анионы составляют 99,9 % от общего количества всех анионов, общее содержание натрия и калия составляет 87,8 % от всех катионов. При таком составе почвы замедляется рост растений из-за токсического воздействия на фотосинтез, дыхание и усвоение азота и фосфора.

Для устранения данной проблемы проводят три этапа рекультивации. На техническом этапе создают дренажные каналы по всему участку, затем рыхлят плотный верхний слой почвы путем многократного фрезерования с использованием ковшового экскаватора. На этапе химической рекультивации используют кальцийсодержащие соединения, такие как гипс, фосфогипс, мел, известняк, нитрат кальция или их смеси. Для равномерного распределения этих соединений их вносят как в форме суспензий, так и в сухом виде с помощью насоса и системы пожарных рукавов. Для лучшего эффекта в полученную суспензию вносят гипс и нитрат кальция в соотношении 30:70 соответственно. Заключительный этап рекультивации засоленных земель представляет собой посадку растений, адаптированных к данным климатическим условиям и стимулирующих микробиологические процессы в почве. В почву вносят комплексный биопрепарат «Абориген» в количестве 20 л на гектар и семена таких трав, как овес посевной, ячмень обыкновенный, пырей обыкновенный, биденс обыкновенный,

чередa дикорастущая, донник желтый (донник лекарственный) и донник белый (донник обыкновенный) [11].

На примере проведенного в 2024 году ООО «Центр кадастровых технологий» проекта рекультивации «Газопровод внешнего транспорта газа с Новопротовского НКМ через Обскую губу» в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, общей площадью 62,6586 га⁵ отмечается, что район размещения исследуемых участков находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), поэтому ведущая роль здесь принадлежит криогенным процессам. Повсеместно распространено пучение грунтов, формирование пятен-медальонов, широко представлены морозобойное (криогенное) растрескивание, формирование полигональных грунтов и систем повторно-жильных льдов, термокарст, термоэрозия, солифлюкция, заболачивание. В меньшей степени получили развитие термоабразия, абразия берегов. Среди эоловых процессов преобладает ветровая эрозия и аккумуляция (песчаные раздувы). Основными факторами воздействия на почвенный покров по источнику и характеру наносимого ущерба можно условно разделить на 3 группы:

- отчуждение земельных участков под строительство линейных и площадочных объектов;
- механическое нарушение почвы и грунтов;
- химическое загрязнение почв и грунтов.

Среднегодовая температура воздуха минус 8,8°С.

Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца — января — минус 24,8°С, а самого жаркого — июля плюс 11°С. Абсолютный температурный минимум и максимум за период наблюдений составили, соответственно, минус 56°С и плюс 30°С, средний из абсолютных минимумов и максимумов температуры воздуха, соответственно, минус 45°С и плюс 24°С. В таблицах 1–3 представлены данные о средней месячной и годовой температуре воздуха, абсолютных минимальных температурах, а также температуре поверхности почвы в районе метеостанции Новый Порт.

Таблица 1

Средняя месячная и годовая температура воздуха, м/с. Новый порт (в градусах Цельсия)

Месяц												год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-24,8	-24,1	-21,9	-13,7	-5,3	2,9	11,0	10,0	4,5	-4,9	-16,8	-21,9	-8,8

ООО «Центр кадастровых технологий» проект рекультивации «Газопровод внешнего транспорта газа с Новопротовского НКМ через обскую губу» в Ямало-Ненецком автономном округе, Надымском районе, общей площадью 62,6586 га «Проект рекультивации нарушенных земель» Шифр: 012-ПД2024-РЗ

Таблица 2

Абсолютный минимум температуры воздуха, м/с. Новый порт (в градусах Цельсия)

Месяц												год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-50	-56	-51	-38	-31	-13	-3	-4	-11	-30	-41	-51	-56

ООО «Центр кадастровых технологий» проект рекультивации «Газопровод внешнего транспорта газа с Новопротовского НКМ через обскую губу» в Ямало-Ненецком автономном округе, Надымском районе, общей площадью 62,6586 га «Проект рекультивации нарушенных земель» Шифр: 012-ПД2024-РЗ

⁵ ООО «Центр кадастровых технологий» проект рекультивации «Газопровод внешнего транспорта газа с Новопротовского НКМ через обскую губу» в Ямало-Ненецком автономном округе, Надымском районе, общей площадью 62,6586 га «Проект рекультивации нарушенных земель» Шифр: 012-ПД2024-РЗ.

Средняя годовая температура поверхности почвы по метеостанции Новый Порт составляет минус 8°C. Продолжительность безморозного периода 48 дней.

Таблица 3

**Средняя месячная и годовая температура поверхности
почвы в с. Новый Порт (почва песчано-глинистая) в градусах Цельсия**

Температура	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя	-25	-24	-22	-13	-4	4	13	11	4	-5	-17	-22	-8

ООО «Центр кадастровых технологий» проект рекультивации «Газопровод внешнего транспорта газа с Новопротоцкого НКМ через обскую губу» в Ямало-Ненецком автономном округе, Надымском районе, общей площадью 62,6586 га «Проект рекультивации нарушенных земель» Шифр: 012-ПД2024-РЗ

С точки зрения почвенно-географического районирования территория находится в пределах Евразийской полярной почвенно-биоклиматической области Полярного пояса, в зоне тундровых глеевых и тундровых иллювиально-гумусовых почв субарктики Северо-Сибирской провинции тундровых глеевых, тундровых иллювиально-гумусовых и тундровых болотных почв фации очень холодных мерзлотных почв.

Особенности процессов почвообразования связаны с низкими температурами, переувлажненностью, повсеместным распространением многолетнемерзлых пород, преобладанием лишайниково-моховой растительности. Это обуславливает холодность, малую биологическую активность, гидроморфизм почв, слабую дифференциацию на морфологические горизонты. Низкая теплообеспеченность и избыточное увлажнение препятствуют развитию процессов выветривания и биогенной трансформации почв. А кратковременность вегетационного периода, малое количество фитомассы и заторможенность биогеохимических процессов приводят к формированию слабо выраженных гумусовоаккумулятивных горизонтов. В результате формируются почвы с неглубоким плохо дифференцированным профилем.

Снятие и использование слоев почв на земельных участках не рекомендуется из-за низкого рН водной вытяжки, низкого содержания гумуса и песчаного механического состава. Тундровые подбурсы характеризуются низким содержанием гумуса, песчаным механическим составом и недостаточной мощностью плодородного слоя (2–5 см). В связи с этим, их снятие нецелесообразно в соответствии с ГОСТ 17.5.3.06-85 и ГОСТ 17.5.1.03-86 (гумус, механический состав).

Рассматриваемым проектом рекультивации процесс восстановления нарушенных земель рассматривается в два этапа — выполнение технических и биологических мероприятий.

Для мероприятий по технической рекультивации предусмотрены следующие работы:

- очистка рекультивируемых территорий от мусора, металлолома с последующим вывозом на полигон отходов — 62,6586 га;
- планировка площади отвода механизированным способом — 62,6586 га;
- нанесение торфо-песчаной смеси — 62,6586 га;
- внесение раскислителя (извести) — известкование — 55,5858 га (исключая площадь в пределах ВОЗ);
- фрезерование — 62,6586 га.

Известно, что торф, имеющийся на территории Ямало-Ненецкого округа, имеет свою специфику в содержании отдельных видов углерода в структурных фрагментах гуминовых кислот гумуса торфа, что подтверждает природную целесообразность получения из него препарата гумата калия. Данное соединение обеспечивает агрегацию почвенных частиц,

повышает возможности землепользования, что особенно важно для деградированных и эродированных земель. Более того, гумат калия улучшает доступность питательных веществ для растений, стимулируя рост корневой системы и надземной части растений, ускоряет процессы биоремедиации, помогая микробам быстрее разлагать органические загрязнители и помогает связывать тяжелые металлы и другие вредные соединения, снижая их подвижность и токсичность для растений и биологических объектов.⁶ Благодаря этим свойствам гумат калия становится важным компонентом для современных методов биоремедиации. Гуминовые вещества, присутствующие в арктических почвах, характеризуются высокой стабильностью и низкой степенью разложения, что связано с суровыми климатическими условиями и преобладанием алифатических углеродных структур (более 60 %) [12]. Такая особенность ограничивает естественные процессы минерализации и восстановления почв, что делает необходимым применение дополнительных технологий для ускорения процессов разложения органических загрязнителей и восстановления плодородия. В этой связи интеграция гумата калия, полученного из гуминовых кислот, может существенно повысить эффективность биоремедиации. Гумат калия стимулирует микробную активность, улучшает доступность питательных веществ для растений и ускоряет разложение органических загрязнителей. Кроме того, он способствует связыванию тяжёлых металлов, снижая их подвижность и токсичность.

Нанесение торфо-песчаной смеси предусмотрено с целью предупреждения развития неблагоприятных геоморфологических процессов. С учетом климатических и почвенно-грунтовых условий состав торфо-песчаной смеси принят 25 % песка и 75 % торфа. Мощность наносимого слоя должна составлять не менее до 10-и сантиметров. Расчетная норма нанесения питательного торфо-песчаного грунта составляет 1 000 м³ на 1 га рекультивируемой поверхности участка.

В целях нормализации реакции почвенной среды применено известкование, являющееся основным условием эффективного применения удобрений на кислых почвах. Норма конкретных известковых удобрений (Н) вычисляется с учетом содержащихся в них суммы нейтрализующих кислотность веществ в расчете на чистый CaCO₃ по формуле: $H = 100Д/П$, где:

Д — норма внесения чистого CaCO₃;

П — содержание действующего вещества в известковом удобрении в пересчете на CaCO₃.

Известковая мука содержит до 85–95 % CaCO₃, мел 94–95 %, при гашении извести образуется Ca(OH)₂, не рекомендуется вносить пушенку на песчаных и супесчаных почвах.

Стандартная известковая мука 1–2 класса должна содержать 85 % карбоната кальция, в слабопылящей муке 50 % частиц до 0,25 мм, 15 % до 1 мм. Полезными считаются все частицы размером до 3 мм (сито), частицы крупнее 2,5 мм слабо раскисляют, особенно, если известняк твердый.

Известковые материалы должны быть хорошо измельчены, равномерно распределены по площади рекультивируемых участков. Принятая проектом доза предпосевного внесения раскислителя (известковая мука, мел) в торфо-песчаную смесь для улучшения агрохимических свойств торфа на участках рекультивации составляет 1 500 кг на 1 га.

⁶ Галиулин Р.В. и др. Гумат калия для рекультивации нарушенных тундровых почв // Деловой журнал Neftegaz. RU. — 2018. — № 3. — С. 104–106. [Электронный ресурс] URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/ekologiya/518505-gumat-kaliya-dlya-rekultivatsii-narushennykh-tundrovyykh-pochv/> (дата обращения: 14.07.2024).

Крайним мероприятием из этапов технической рекультивации является фрезерование, оказывающее наилучшее воздействие на физические свойства почв. В частности, увеличивается некапиллярная и капиллярная скважность, создается хорошее для активной деятельности микроорганизмов соотношение влаги и воздуха, повышается нитрификация. Фрезерование — более удобный и эффективный способ, позволяющий сократить срок восстановления земельного участка. Фрезерными машинами уничтожают кочки, мелкие пни, измельчают верхний слой почвы. Фрезерование заменяет все операции предпосевной (предварительной) обработки почвы и сразу позволяет проводить посев трав. Для целей фрезерования применяют пропашные и садовые фрезы (ФП-2, ФС-0,9, ФС-0,7).

Биологическая рекультивация является завершающим этапом и проводится для снижения и предотвращения последствий техногенных нарушений. Биологической рекультивации подлежат нарушенные земли на площади 62,6586 га и включают комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы. Ключевым звеном в решении задач биологической рекультивации является подбор растений — рекультивантов, способных в короткие сроки формировать на восстанавливаемых участках сомкнутые, эрозионно-устойчивые растительные сообщества.

Мероприятия по биологической рекультивации разработаны в соответствии с природными особенностями осваиваемой территории. Поскольку часть рекультивируемых земельных участков площадью 7,0728 га располагается в границах водоохранной зоны, в соответствии с Водным кодексом РФ, внесение удобрений в водоохраной зоне — запрещено, следовательно на площади 7,0728 га будет произведен только посев семян травосмеси, а на площади 55,5858 га будет проведено и внесение минеральных удобрений и посев семян многолетних трав.

Внесение минеральных удобрений предполагает обеспечение трав-мелиорантов элементами минерального питания в первый период жизни растений. Дозы, сроки и способы припосевного внесения удобрений определяют с учетом почвенно-климатических условий и биологических особенностей высаживаемых трав. Для предпосевного внесения удобрений используют технологии поверхностного внесения (удобрения равномерно распределяются по поверхности почвы и заделываются в почву граблями или оставляются без заделки), контактного внесения (внесение смеси семян и удобрений). При внесении предпочтение отдается удобным в применении комплексным удобрениям, содержащим азот, фосфор, калий в доступной для быстрого усвоения растениями форме.

После внесения минеральных удобрений на участке производят посев травосмесей. Норма посева — 220 кг/га. Посев трав в переувлажнённых местах и на откосах с крутизной более 1:2 — производят вручную. Площадь посева предварительно поливается водой.

Для эффективного противодействия ветровой и водной эрозиям целесообразно создание растительного покрова из многолетних трав, дающих наилучшую фитомассу и образующих мощную корневую систему. В северных районах для посева рекомендуются травосмеси из однолетних и многолетних злаковых трав (кострец безостый, тимopheевка луговая, овсяница красная, мятлик луговой, овес посевной). Доля процентного содержания однолетних растений в травосмеси не превышает 30 % от общего состава семян, применяемых для биологической рекультивации. Травосмеси можно дополнять ромашкой, мятликом альпийским, полевицей белой, шучкой дернистой.

После посева проводится заделка семян в почву бороной или граблями. Для равномерной заделки семян в почву сеялка оборудуется шлейф-бороной, состоящей из древесных брусков или стального троса диаметром 0,2 м длиной до 8 м. После этого

производится прикатывание. Основное назначение прикатывания — обеспечение лучшего контакта семян с почвой; подтягивание капиллярной влаги из нижележащего слоя почвы к семенам; частичная заделка семян, оказавшихся на поверхности участка, в почву. В качестве устройства для прикатывания наиболее эффективно использование среднего гусеничного трактора. При посеве в засушливый период производят регулярный полив посевов водой. Количество воды определяется поливной нормой. Поливная норма составляет 200–400 м³/га в два приёма с суточным интервалом между поливами.

Посев трав производят с ранней весны (при переходе температур через плюс 50°C) и завершают за 30 дней до окончания вегетационного периода. Рекомендуемые сроки посева трав: начало июня; окончание середина августа. Возможно проведение подзимнего посева многолетних трав после 10 сентября. Норма высева семян в данном случае увеличивается на 30 %.

Однако осенний срок посева является предпочтительнее, так как семена начинают прорастать в самом начале вегетационного периода следующего года, что позволяет пройти весь фенологический цикл за короткое субарктическое лето первого сезона. К третьему вегетационному периоду различия между участками с различными сроками посева (осенний и весенний) становятся несущественными. Многолетние травы закрепляют перевиваемые пески. Происходит своеобразный эффект «окучивания», в результате которого создаются благоприятные почвенные условия для развития дополнительной корневой системы растений и улучшения роста травы [13].



Рисунок 2. Растительность земельного участка после его рекультивации на одной из газовых скважин в п. Ямубрг Надымского района (фото автора)

Заключение

Проведя анализ проектов рекультивации, реализуемых на территории муниципального округа Надымский района, следует отметить значительную сложность проведения работ в условиях Крайнего Севера.

Изученные проекты демонстрируют, что, несмотря на применение современных технологий и нормативное регулирование, существуют существенные трудности, связанные с климатическими особенностями, такими как многолетняя мерзлота, короткий вегетационный период, низкие температуры, а также высокие требования к соблюдению экологических норм.

Примеры конкретных мероприятий включают использование биологических препаратов для ускорения восстановления растительного покрова и уменьшения загрязнения почвы нефтепродуктами, организацию дренажных систем на засоленных участках, а также применение торфо-песчаной смеси для улучшения почвенной структуры. Проекты также содержат рекомендации по минимизации негативного воздействия на замерзшие грунты, что особенно важно для предотвращения термокарста и иных криогенных процессов.

На основе анализа можно сделать вывод, что успех рекультивации в таких условиях требует комплексного подхода, включающего строгий контроль за соблюдением проектных решений, адаптацию технологий к местным условиям, а также внедрение инновационных методов восстановления почв. Одним из таких методов является использование гумата калия, который не только стимулирует рост многолетних злаков, но и способствует формированию плотного травяного покрова, что особенно важно в условиях постоянной техногенной нагрузки на почвы [14]. Важно продолжать развивать научные исследования и нормативное обеспечение в данной области для повышения эффективности рекультивационных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Окмянская В.М. К вопросу о рекультивации нарушенных земель на примере месторождения Ямало-ненецкого автономного округа // *International Agricultural Journal*. — 2022. — № 6. — С. 1068–1083.
2. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J., Westermann S., Romanovsky V.E., Nelson F.E., Etzelmüller B., Luoto M. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // *Nature Communications*. — 2018. — Т. 9. — DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4.
3. Пинаев В.Е. и др. «Вопросы рекультивации земель — опыт подготовки главы для Проекта мероприятий по охране окружающей среды» // Интернет-журнал «Мир науки» — 2015 — № 1 — URL: <http://mir-nauki.com/PDF/13EMN115.pdf>.
4. Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Popova N.I. Features of Transformation of Oil-contaminated Soils in Arctic Region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2020. — Т. 459, № 052007. — DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052007.
5. Пинаев В.Е., Касимов Д.В., Вопросы рекультивации земель, пресноводных и морских объектов. Монография. Издание 2 исправленное и дополненное — М.: Мир науки, 2021. — URL: <https://izd-mn.com/PDF/13MNNPM21.pdf>.
6. Зотова Л.И., Тумель Н.В. Методология выбора природоохранных мероприятий в области вечной мерзлоты на примере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // *Проблемы региональной экологии: Общественно-научный журнал*, 2018, С. 93–98, DOI: 10.24411/1728-323X-2018-11093.
7. Vinothini C., Sudhakar S., Ravikumar R. Biodegradation of petroleum and crude oil by *Pseudomonas putida* and *Bacillus cereus* // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. — 2015. — Т. 4, № 1 — С. 318–329.

8. Любакинский С.Е., Сивков Ю.В. Оценка проведения работ по рекультивации земель на территории ЯНАО // Вестник науки — 2023 — № 12(69) том 5 ч. 1. — С. 567–571. — URL: <https://www.вестник-науки.pф/article/12139>.
9. Недикова Е.В., Недиков К.Д. Особенности рационального использования и воспроизводства природных ресурсов Ямало-Ненецкого автономного округа // Экономика и экология территориальных образований. — 2020. — № 1. — С. 34–44.
10. Ejarque, E., Abakumov, E.V. Stability and biodegradability of humic substances from Arctic soils of Western Siberia: insights from ¹³C-NMR spectroscopy and elemental analysis // Solid Earth. — 2016. — Т. 7. — № 1. — С. 153–165. — DOI: 10.5194/se-7-153-2016.
11. Semenova, E.M.; Tourova, T.P.; Babich, T.L.; Logvinova, E.Y.; Sokolova, D.S.; Loiko, N.G.; Myazin, V.A.; Korneykova, M.V.; Mardanov, A.V.; Nazina, T.N. Crude Oil Degradation in Temperatures Below the Freezing Point by Bacteria from Hydrocarbon-Contaminated Arctic Soils and the Genome Analysis of *Sphingomonas* sp. AR_OL41. // Microorganisms — 2024 — 12(1) — DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010079>.
12. Chernova A. et al. Technology for soil restoration after contamination with well fluids on the territory of oil production land / A. Chernova et al. // E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2020. — Т. 175. — С. 09015.
13. Попов А.И. Экспериментальные работы по биологической рекультивации в тундровой зоне Ненецкого Автономного округа // Актуальные проблемы сельскохозяйственных наук в России и за рубежом. — 2015. — С. 9–11.
14. Арабский А.К., Башкин В.Н., Алексеев А.О., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Гумат калия как средство рекультивации нарушенных тундровых почв // XI Международная биогеохимическая школа. — Тула, 13–15 июня 2019 г. — С. 203–206. Труды XI Международной биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения Виктора Владиславовича Ковальского: в 2 томах. Том 2. Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого; Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН). 2019 — С. 203–206.

Islamgaliev Sergey Narimanovich

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: islamgaliyev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9639-9155>

Pinaev Vladimir Evgenievich

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: pinaev-ve@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8943-5462>

IRID: <https://istina.msu.ru/workers/165381869/>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=408706

Modern methods of remediation of contaminated lands and water bodies in cryolithozone conditions on the example of Nadym district of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug

Abstract. Located in the north of Western Siberia, in conditions of harsh climate and permafrost, the Yamal Peninsula not only has unique climate and geographic characteristics but also holds the largest natural gas and oil reserves in the world, as well as various minerals (stone, clay, sand).

The peninsula is situated in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, in the very heart of the Russian Arctic, where up to 80 % of the country's domestic natural gas is extracted annually, thereby ensuring the country's energy security and contributing to its stable economic development. Currently, a significant portion of the land in the region is used by enterprises in the fuel and energy complex for resource extraction. However, this activity is inevitably associated with the creation of large-scale infrastructure, including the use of heavy machinery for the construction of roads, pipelines, production and storage facilities, as well as other industrial objects, which, in turn, leads to negative environmental consequences. Soil degradation, contamination of soil and water bodies with hydrocarbons and heavy metals requires the implementation of comprehensive measures aimed at restoring disturbed areas and minimizing anthropogenic impact.

This article discusses existing methods of land reclamation in disturbed areas, using the example of the Nadym District of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. The effectiveness of these methods is evaluated, along with the challenges posed by harsh climatic and natural conditions, and the prospects for applying modern reclamation techniques in the permafrost conditions of the studied area.

Keywords: reclamation; cryolithozone; permafrost; Yamalo-Nenets Autonomous Okrug; Nadym District; sustainable development; bioremediation; anthropogenic impact on soils; potassium humate