

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Л. И. Зотова, к. г. н., старший научный
сотрудник, zotlar@mail.ru,
Н. В. Тумель, к. г. н., ведущий научный
сотрудник, ntumel@mail.ru,
МГУ имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Природоохранные мероприятия в северных регионах предусматривают ликвидацию, ограничение или предотвращение развития экзогенных процессов (термокарста, термоэрозии, пучения, дефляции и др.), неизбежно возникающих в районах обустройства нефтегазовых месторождений. Рассматривается методология выбора основных природоохранных мер в области вечной мерзлоты — криолитозоне. На примере многолетних мерзлотно-ландшафтных изысканий территории интенсивной нефтедобычи в таежно-болотной зоне Западной Сибири показана целесообразность использования для этих целей ландшафтных выделов, сгруппированных по степени устойчивости к нарушениям механического характера. Под устойчивостью ландшафтов подразумевается способность противостоять активизации техногенно-спровоцированных экзогенных процессов. Демонстрируется табличная форма систематизации природоохранных мероприятий в соответствии с видами инженерных сооружений и прогнозом их негативного влияния с целью оптимальных условий дальнейшей эксплуатации месторождений. Приводится перечень универсальных природоохранных мероприятий для осваиваемых районов криолитозоны.

Environmental measures in the northern regions include the elimination, restriction or prevention of the exogenous processes development (thermocarst, thermoerosion, punching, deflation, etc.) that inevitably arise in the development areas of oil and gas fields. The methodology of choosing the main environmental measures in the field of permafrost — cryolithozone is considered. In the study of long-term permafrost-landscape surveys of the intensive oil production territory in the taiga-marsh zone of Western Siberia, it is shown that it is advisable to use landscape extracts for these purposes grouped according to their degree of resistance to mechanical disturbances. The landscapes stability means the ability to resist the activation of technogenic-provoked exogenous processes. The list of universal nature protection measures for the purpose of optimum operating conditions of deposits in areas of permafrost distribution is given.

Ключевые слова: геоэкология, охрана природы, вечная мерзлота, устойчивость ландшафтов, обустройство нефтяных месторождений, природоохранные мероприятия, Западная Сибирь.

Keywords: geoecology, nature protection, permafrost, landscape stability, development of oil deposits, nature protection measures, Western Siberia.

Большая часть России расположена в области вечной мерзлоты и половину ее занимает сплошная мерзлота, местами несдвигающегося типа (слой сезонного промерзания отделен от кровли вечной мерзлоты талым горизонтом). Сочетание вечномерзлых пород, слоя сезонного протаивания на ней и сезонного промерзания в пределах таликов приводит к большому разнообразию криогенных процессов, которые активизируются при освоении криолитозоны. Эти процессы опасны как для сооружений, так и для природных ландшафтов. Для сохранения того и другого необходима разработка природоохранных мероприятий. Следует отметить, что такая задача решается инженерным мерзлотоведением, где первое место отводится собственно сооружениям.

Любые нарушения природной среды в криолитозоне сопровождаются активизацией мерзлотных рельефообразующих процессов. Летом это термокарст, термоэрозия, сопровождаемая оврагообразованием, преобразованием русла, главной причиной которых является в первую очередь нарушение почвенного растительного покрова вплоть до полного его уничтожения. Опасность уничтожения растительного покрова зависит от ее видового состава. Наибольшую опасность, как известно, представляет удаление мохового покрова, затем кустарничков, кустарников, лесных сообществ, и, наконец, напочвенного покрова из разнотравья в долинах рек и пр.

Вслед за растительностью опасным является поверхностное обводнение — появление или уменьшение вплоть до исчезновения заболоченности, мелких озер, верховодки. И то и другое сопровождается изменением глубины протаивания, а также темпов и сроков завершения криогенных процессов, наблюдаемых летом. В осенне-зимний период нежелательные процессы представлены пучением, наледообразованием и, в известной степени, морозобойным растрескиванием. Последнее особенно активно в Восточной Сибири в связи с сибирским антициклоном. Все эти процессы в первую очередь связаны с уменьшением мощности снега или его уборкой. Пучение, естественно, наиболее активно проявляется в пределах термокарстовых заболоченных, заозеренных понижений. Увеличение мощности снега удлиняет время промерзания и отражается на режиме и величине пучения, уменьшении опасности растрескивания, повышении температуры пород.

Последнее создает благоприятный фон для проявления криогенных процессов, активизирующихся летом. Дефляция в равной степени активна круглогодично, поскольку наблюдается в лишенных растительности ландшафтах.

Все процессы формируют новый микро- и мезорельеф, влияющий на распределение тепла и влаги, что, в свою очередь, изменяет как условия развития почвенного покрова и растительности, так и структуру ландшафта в целом. Основная стратегия ликвидации и ограничения последствий хозяйственного освоения территории в области вечной мерзлоты определяется необходимостью восстановить теплофизические условия в нарушенных природных комплексах с целью безаварийного функционирования инженерных объектов, которые после отработки могли бы быть оптимально «вписаны» в естественные ландшафты. Применительно к области вечной мерзлоты весь комплекс природоохранных работ, направленный на сохранение и восстановление ресурсо-средовоспроизводящей функции ландшафтов как среды обитания человека, должен быть дополнен «инженерной» компонентой [1].

Проектирование инженерных сооружений достаточно строго регламентируется различными нормативными актами и руководящими документами. Однако в них, как правило, не учитывается региональная специфика природных факторов экологического риска, которая инвентаризируется при ландшафтном картографировании [2]. К факторам экологического риска относятся факторы, определяющие низкую устойчивость и предрасположенность природных комплексов к быстро протекающим процессам при антропогенных нагрузках и аварийных ситуациях на объектах промышленного освоения. Среди природных факторов — опасные экзогенные процессы, в первую очередь — мерзлотные (пучение грунтов, термокарст, термоэрозия), а также заболачивание, оврагообразование, деформация русла, дефляция и пр.

Многолетний опыт работ в нефтегазопромысловых районах Тюменской области показал, что концепция разработки комплекса природоохранных мер должна быть основана на сопоставлении участков инфраструктурных объектов с границами ландшафтных комплексов топологического уровня, на оценке устойчивости ландшафтов к нарушениям механического характера. К ним относятся изменение или уничтожение растительного покрова; изменение мощности и плотности снега, а также мезо- и микрорельефа (выемки, насыпи, выравнивание поверхности), водообмена (дренирование, подтопление), состава

и свойств приповерхностных почвогрунтов [3]. Под устойчивостью в данном случае мы понимаем способность противостоять активизации техногенно-спровоцированных криогенных процессов наряду с изменениями природных комплексов, которые могли бы привести к необратимому ухудшению экологической обстановки и недопустимым деформациям инженерных сооружений [4].

Изучение специфики обустройства нефтяных месторождений и их ландшафтной уязвимости к нарушениям проводилось в пределах Надым-Пуровского междуречья — района интенсивной нефтедобычи в мерзлотно-таежно-болотной зоне Западной Сибири, на Суторминском, Сугмутском, Крайнем и Муравленковском нефтепромыслах. В мерзлотном отношении территория расположена в центральной геокриологической зоне, для которой характерно островное, реже — массивно-островное распространение высокотемпературных, маломощных мерзлых пород и длительное, разнообразное по мощности сезонное промерзание на талых породах. В естественных условиях в исследуемом районе проявляются процессы заболачивания, термокарста, пучения, а также опустынивания и дефляции. Типичные нарушения в ходе эксплуатации нефтепромысловых объектов на порядки усиливают эти процессы, превращая их в опасные и даже разрушительные. Отличительные черты региона — слабый дренаж, чрезвычайно сильная заболоченность, преобладание отложений легкого механического состава. Ландшафтный облик формируют редкостойные кедрово-сосновые леса с мохово-лишайниковым напочвенным покровом на песчаных подзолистых почвах, приуроченные к узким приречным полосам и гривам, и обширные болотные массивы на междуречьях. Господствующий тип болот — плоскобугристые мерзлые торфяники и выпуклые олиготрофные болота.

В итоге была составлена серия электронных карт масштаба 1:100 000 — ландшафтная, мерзлотно-ландшафтной устойчивости, техногенной нагрузки и современного экологического состояния. Типизированные природные комплексы служат основой для составления природоохранных карт в более мелком масштабе, поскольку основные требования для их составления — именно комплексность, увязка рекомендуемых природоохранных мероприятий со спецификой окружающей среды. Если наметить для каждой группы ландшафтов, выделенной на карте, перечень природоохранных мероприятий, то можно превратить их в природоохранные районы, а саму карту мерзлотно-ландшафтной устойчивости, в опре-

деленной степени, считать картой природоохранного районирования.

Собранный фактический материал систематизирован по всей цепочке информации от характеристики групп ландшафтов до перечня природоохранных мероприятий в соответствии с видами инженерных сооружений и прогнозом их негативного влияния с целью оптимальных условий дальнейшей эксплуатации месторождений в исследуемом регионе (табл.). В основе таблицы — типы природных комплексов, сгруппированные по степени устойчивости к техногенным нарушениям. Шапка таблицы включает мерзлотное описание: для многолетнемерзлых пород (ММП) — их площадь, мощность и среднегодовую температуру грунтов; для слоя сезонного промерзания (СМС) или протаивания (СТС) — их мощность и период существования (в датах). Вторая часть таблицы — изменения в ландшафтах, прогноз проявления нежелательных процессов и явлений при определенных видах освоения и перечень природоохранных мероприятий (без технологий).

При этом рассматриваются типичные виды сооружений и объектов: линейные сооружения (коридоры коммуникаций), которым сопутствует подтопление или дренирование естественных ландшафтов, а также изменение стока водотоков и подземных вод; карьеры гидронамывные и сухоройные; кустовые площадки и промзоны. В данных инженерных объектах обязательно происходят те или иные нарушения растительного и снежного покровов и поверхностных горизонтов почвогрунтов. Главным образом, это снятие мохово-лишайникового покрова, удаление или уплотнение снега, срезание торфа и почвенного горизонта, выемка песка, изменение водно-физических свойств грунтов и т. д. За пределами анализа остается химическое загрязнение почв, поверхностных и подземных вод, связанное с нефтедобычей, а также изменения в животном мире.

Характер изменений ландшафтов и, следовательно, комплекс природоохранных рекомендаций весьма различен по каждому виду нарушений. Так, минимально их число на подтопленных территориях, несколько больше рекомендованных мероприятий при эксплуатации карьеров и строительстве кустовых площадок, максимально их количество при дренировании природного комплекса.

Такое соотношение отражает специфику ландшафтной дифференциации таежной зоны Западной Сибири. Она характеризуется почти сплошной заболоченностью. Поэтому подтопление, за исключением ограниченного числа ландшафтов, является усугублением, утрированием основных

черт природного комплекса, а дренирование, напротив, радикальной их перестройкой.

При подтоплении ландшафтов вдоль линейных сооружений главным мероприятием является создание искусственных дренажных систем, гидромелиорация, что особенно актуально в пределах мерзлотных геосистем (плоскобугристые торфяники, комплексные верховые болота), поскольку их обводнение влечет за собой протаивание, просадку, термокарст и термоэрозию, необратимые изменения мезорельефа. Для самих линейных сооружений это чревато авариями трубопроводов, дорог и т. д.

Дренирование ландшафтов, кроме традиционно возрастающей пожароопасности, сопровождается двумя основными типами нежелательных последствий. Первое — ужесточение мерзлотной обстановки, а именно: новообразование мерзлоты (перелетков и островов), увеличение глубины сезонного промерзания и продолжительности его существования, сезонное и многолетнее пучение с образованием бугров. Второе — усиление дефляционных процессов и опустынивание, поскольку приповерхностные горизонты на большей части региона представлены песками, залегающими у поверхности или под торфом небольшой мощности (до 0,5 м), который при дренировании быстро разрушается.

Природоохранные мероприятия по ликвидации или уменьшению *последствий дренирования* природных комплексов можно объединить в четыре основные группы [4].

1. Противопожарные мероприятия (расчистки и т. д.), прежде всего в залесенных природных комплексах водоразделов и долин, сосново-кустарничково-сфагновых болотах.

2. Мероприятия, связанные с сохранением теплообмена, близкого к естественному. В первую очередь это снегозадержание, которое направлено на смягчение почвенного климата, нормальное существование биоты, поддержание естественных мерзлотных условий. Следует подчеркнуть, что относительно мягкая мерзлотная обстановка в таежной зоне Западной Сибири является результатом отепляющего влияния мощного снежного покрова и высокой обводненности. В Большеземельской тундре, например, при среднегодовых температурах воздуха $-6^{\circ}\dots-7^{\circ}\text{C}$ (аналогичных западносибирским) мерзлые породы имеют прерывистое распространение, мощность их составляет 90—130 м, температура $-1,5^{\circ}\dots-3^{\circ}\text{C}$ [1]. Следовательно, сам природный процесс указывает на уязвимые варианты освоения. При неизменном климате манипуляции со снегом, дренирование однозначно увеличат су-

Природоохранные мероприятия района нефтепромыслового освоения (Надым-Пуловское междуречье)

Типы ландшафтов	Мерзлотная характеристика		Линейные сооружения		Площадные сооружения	
	ММП	СМС – СТС	Подтопление	Дренаживание	Карьеры	Насыпи под кустовые площадки
Плоскобугристые мерзлые торфяники, занимающие центральные части междуречных равнин и фрагменты I надпойменной террасы	70–90 / 0,0–0,5 / 7–15	СТС: 0,6 / 20–25,03 – 15–20,11	— термокарстовые просадки;	ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ПРОЦЕССЫ — пожароопасность; — перелетки и острова ММП; — увеличение ξ на 1–1,5 м, τ на 10–20 дней	— понижение уровня грунтовых вод; — отмирание растительности в радиусе 200–500 м; — перелетки и острова ММП, пучение; — увеличение ξ до 1,2 м	— сползание песчаной отсыпки; — дефляция; — перелетки и острова ММП
			— локальное озеркообразование; — олутование			
Леса редкостойные сосновые с кустарничково-лишайниковым напочвенным покровом на песчаных подзолах, занимающие хорошо дренированные поверхности междуречных равнин, надпойменных террас и грядовых останцев	нет	СМС: 0,9–3,5 / 0,2–08,08 – 01–15,07	— создание искусственных дренажных систем в понижениях	МЕРОПРИЯТИЯ — противопожарные мероприятия; — снегозадержание; — локальные посевы знаков на минеральной отсыпке поверхности торфов	— фиторекультивация; — посев трав по откосам; — ветро- и снегозадержание	— дефляция; — перелетки и острова ММП
			— временное заболачивание; — сокращение ξ до 0,5–1 м			
Низинные мохово-травяные болота, занимающие ложбины стока, плоские участки междуречных равнин и высокой поймы крупных рек	нет	СМС: 0,3–0,6 / 01–15,10 – 20,06–10,08	— организация искусственных дренажных систем	МЕРОПРИЯТИЯ — закрепление поверхности грунта торфом; — посев знаков; — ограничение движения транспорта на срок до 5 лет; — снегозадержание; — ограничение времени эксплуатации зимников	— закрепление торфом; — посев знаков; — снегозадержание	— ветро- и снегозадержание; — покрытие откосов дерниной
			— увеличение площади травяных топей; — деградация торфа; — сокращение ξ до 0,2–0,3 м			
			— создание искусственных дренажных систем	МЕРОПРИЯТИЯ — торфоукрепление; — появление подроста сосны и березы; — увеличение ξ до 1–1,2 м, τ на 15–20 дней	—	— сползание отсыпки; — дефляция; — перелетки и острова ММП
			— создание искусственных дренажных систем	МЕРОПРИЯТИЯ —	—	— посев трав по откосам; — покрытие дерниной; — ветро- и снегозадержание

Общие рекомендации:
1. Все работы проводить в период устойчивых отрицательных температур воздуха.
2. Производить покрытие обнаженных поверхностей теплоизоляционными материалами перед началом протаивания 01.05 – 15.06 перед началом промерзания 1.10 – 15.11

ровость ландшафтов. Снегозадержание особенно актуально в болотных природных комплексах с мощным торфяным покровом и хасырях, где при возможном дренировании следует ожидать активизации процессов пучения. В качестве частных решений на дренированных участках можно использовать теплоизоляционные искусственные материалы — летом над мерзлыми породами, зимой — над талыми грунтами.

3. Строгое соблюдение сезонных сроков различных видов работ. Эксплуатация зимников должна быть ограничена во времени, что основывается на трех основных параметрах — глубине сезонного промерзания, несущей способности грунтов и мощности снега. В криогенных ландшафтах все работы должны производиться исключительно при устойчивой отрицательной температуре и достаточном по мощности снежном покрове во избежание нарушения почвенных покровов, верхних горизонтов почвогрунтов и протаивания мерзлых пород.

4. Мероприятия, связанные с предотвращением антропогенной активизации эоловых процессов. Их стратегия должна быть направлена на закрепление песков. Главным является посев трав (злаков), что особенно актуально для зеленых ландшафтов. Фиторекультивация должна сопровождаться запретом движения транспорта на 5—7 лет. Закрепление поверхности грунтов торфом, дерниной прежде всего целесообразно при дренировании гидроморфных ландшафтов. Целесообразно создание противодефляционных сооружений, в том числе ветрозащитных.

Природоохранные мероприятия *при площадных нарушениях* в пределах карьеров и кустовых площадок принципиально не отличаются от вышеперечисленных и направлены на устранение изменений режима тепла влаги и закрепление грунтов от развевания.

Карьеры. Разработка гидронамывных карьеров приводит к резкому понижению уровня грунтовых вод, вследствие чего происходит отмирание растительности в радиусе 200—500 м. На месте спущенных или обмелевших озер возможно увеличение сезонномерзлого слоя, новообразование мерзлоты, пучение. В сухоройных карьерах главная опасность — дефляция. Для борьбы с этими явлениями основными мероприятиями являются фиторекультивация и снегозадержание. Последнее смягчает зимний микроклимат, увеличивает влагосодержание и тем самым способствует закреплению растительности. В сухоройных карьерах для закрепления стенок можно использовать торф или дернину. В окрестностях гидронамывных карьеров и на их месте нужно искать техни-

ческое решение восстановления естественного уровня грунтовых вод (водная мелиорация). Участки брошенных карьеров представляют собой типичные бедленды, в которых практически отсутствует процесс естественной рекультивации. Поэтому природоохранные мероприятия здесь в высшей степени необходимы.

Кустовые площадки. Мероприятия в их пределах направлены на закрепление откосов, предотвращение их круглогодичного развевания и летнего расползания. Поэтому отсыпки и насыпи следует производить из грубозернистого песка, гравия или щебня. Под самой площадкой резко меняется теплообмен и мерзлотные условия. По совокупности негативных воздействий на площадные сооружения основные рекомендации — посев трав, закрепление поверхности дерниной, торфом, ветрозащита и снегозадержание.

Пересечение долин рек и болот линейными сооружениями. Происходит нарушение естественного горизонтального водообмена грунтовых вод, если линейные сооружения проектируются в крест линий стекания. В этом случае нужно изменять проектное решение — либо переносить коммуникации из опасных в этом отношении природного комплекса, либо менять направление сооружения, располагая его вдоль стока.

Таким образом, все многообразие инженерно-технологических и биологических природоохранных мер и мероприятий можно объединить в следующие группы [1, 3].

Запретительные меры, направленные на запрет хозяйственной деятельности в особо опасных по мерзлотным условиям природных комплексах (большое количество льда в породах, близкая к 0 °С температура пород, их малая мощность, склоны крутизной более 5° и т. д.). Ограничение сроков работ — запрет на летнюю транспортировку по тундре и другим северным ландшафтам, строгое соблюдение сроков эксплуатации зимников. Запрет использования техники и инженерно-технических приемов, не учитывающих физико-механические свойства мерзлых пород.

Мелиорации снежные, водные, тепловые, которые в идеале направлены на предотвращение или стабилизацию криогенных процессов и создание микроклимата в грунтах для успешного проведения фиторекультивации.

Рекультивация мерзлотно-инженерная и фиторекультивация особенно актуальны для сухоройных и гидронамывных карьеров, отвалов, заброшенных буровых, отстойников, участков строительства различных сооружений. Здесь главными и подчас трудно разрешимыми задачами являют-

ся выравнивание техногенного микро- и мезорельефа, формирование состава и влажности искусственного корнеобитаемого слоя. Промерзание отвалов пород по мере обработки месторождений и создание таким образом техногенных, скованных мерзлотой образований — главное препятствие на пути рекультивации.

Инженерные решения направлены на обеспечение безаварийной работы инженерных сооружений. Этими вопросами занимается инженерное мерзлотоведение. Его успехи очевидны, так как в российском Заполярье функционируют сложные инженерные системы. Прежде всего это относится к регулированию стока вод, расчету высоты искусственных насыпей, прокладке коммуникаций с учетом свойств мерзлых пород, выбору принципа строительства на мерзлоте (сохранение мерзлых пород или их оттаивание на разную глубину) и т. д. В группу инженерных решений следует отнести обязательную организацию мерзлотной службы, осуществляющую мерзлотный мониторинг и экстренную мерзлотную помощь в

промышленных центрах, как это имеет место в городах Муравленково, Салехард, Уренгой и др.

Ресурсосбережение предусматривает прежде всего тщательно организованные и оснащенные на современном уровне изыскательские работы, в том числе проведение мерзлотной съемки, цель которой изучение общих и частных закономерностей мерзлых пород, прогноз изменения мерзлотных условий при хозяйственном освоении и разработка природоохранных мероприятий. На федеральном и региональном уровнях целесообразно создание экологических геоинформационных систем и баз данных с обязательным включением в них мерзлотной информации. В группу ресурсосберегающих природоохранных мероприятий следует отнести вахтовый метод работ на Севере и использование техники, особенно транспортной, в северном варианте, максимально щадящей напочвенный покров.

Перечисленные рекомендации универсальны, их следует соблюдать на любой стадии хозяйственного освоения северных территорий.

Библиографический список

1. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е. С. Мельникова и С. Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
2. Козин В. В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромысловом регионе: Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2007. 240 с.
3. Российская Арктика: на пороге катастрофы / Под ред. А. В. Яблокова. М.: Центр экологической политики России, 1996. 208 с.
4. Тумель Н. В., Зотова Л. И. Геоэкология криолитозоны. 2-е изд., испр. и доп. Учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. — М.: Изд-во ЮРАЙТ, 2017. — 220 с.
5. Geocryology: Characteristics and Use of Frozen Ground and Permafrost Landforms / Stuart A. Harris, Anatoli Brouckov, Cheng Guodong. CRC Press, 2017, 799 p.

SELECTION METHODOLOGY OF NATURE PROTECTION MEASURES IN THE FIELD OF PERMAFROST IN THE STUDY OF THE WEST SIBERIAN OIL AND GAS PROVINCE

N. V. Tumel, Leading researcher, tumel@mail.ru.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

References

1. Permafrost and development of oil and gas bearing areas. Edited by E. S. Melnikov & S. E. Grechishev. M.: GEOS, 2002. P. 402.
2. Kozin V. V. Landscape analysis in oil and gas field: Tumen, TGU. 2007. P. 240.
3. The Russian Arctic: on the eve of a catastrophe. Edited by A. V. Yablokov. Moscow: Environmental Policy Center of Russia. 1996. P. 208.
4. Tumel N. V., Zotova L. I. Geoecology in permafrost zone areas. 2nd edition. The manual for a bachelor degree and magistracy. — Moscow: YURAYT, 2017. 220 p.
5. Geocryology: Characteristics and Use of Frozen Ground and Permafrost Landforms / Stuart A. Harris, Anatoli Brouckov, Cheng Guodong. CRC Press, 2017, 799 p.