

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 551.34

DOI 10.17513/use.38058

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА ХМАО-ЮГРЫ**

Жуков А.Н.

Тольяттинский государственный университет, Тольятти,

e-mail: AleksandrZhukovN@yandex.ru

Геологические и геокриологические процессы вызывают усталостное разрушение нефтепромысловых трубопроводов и могут приводить к возникновению кризисных экологических ситуаций: разливу нефти и сточных вод, что особенно актуально для территорий ХМАО-Югры. Данные, получаемые при исследовании процессов, происходящих в криолитозоне, служат материалом для мониторинга опасных экзогенных геологических процессов, а также позволяют вести мониторинг. В последнее время в ХМАО-Югре участились случаи нарушения безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Поэтому необходимо проводить периодическую оценку технического состояния зданий и сооружений и их грунтового основания с помощью методов инженерной геофизики, в частности метода сейсмического зондирования, космического мониторинга и других методов. В ходе проведенного обзора литературы было показано, что вечная мерзлота представляет собой мерзлый грунт в высоких широтах, образованный низкоуровневыми насаждениями во время ледниковых периодов. В ходе изучения проблемы было показано, что на территории ХМАО-Югры, согласно представленным данным, отмечаются случаи активизации опасных экзогенных геологических процессов, что представляет собой, в большинстве случаев, разрушение горных пород, образование термокарстов и др. Это формирует существенный риск для объектов нефтегазового комплекса, а также жизненно важной инфраструктуры. Наибольшее значение при этом имеют процессы, которые происходят в термокарстах, что требует выработки технологических решений по их мониторингу.

Ключевые слова: геозкология, зондирование, термокарстовые процессы, экзогенные процессы

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT
OF GEOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL PROCESSES
ON THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE OIL
AND GAS COMPLEX OF KHMAO-YUGRA**

Zhukov A.N.

Togliatti State University, Togliatti, e-mail: AleksandrZhukovN@yandex.ru

Geological and geocryological processes cause fatigue destruction of oilfield pipelines and can lead to crisis environmental situations: oil and wastewater spills, which is especially important for the territories of KhMAO-Yugra. The data obtained during the study of processes occurring in the cryolithozone serve as material for monitoring dangerous exogenous geological processes, and also allow monitoring. Recently, in the KhMAO-Yugra, cases of violations of the safe operation of buildings and structures have become more frequent. Therefore, it is necessary to carry out periodic assessment of the technical condition of buildings and structures and their soil foundation using methods of engineering geophysics, in particular the method of seismic sounding, space monitoring and other methods. In the course of the literature review, it was shown that permafrost is a frozen ground at high latitudes formed by low-level plantings during glacial periods. During the study of the problem, it was shown that in the territory of KhMAO-Yugra, according to the data presented, there are cases of activation of dangerous exogenous geological processes, which is, in most cases, the destruction of rocks, the formation of thermokarsts, etc. All this creates a significant risk for oil and gas facilities, as well as vital infrastructure. The processes that occur in cryocarsts are of the greatest importance in this case, which requires the development of technological solutions for their monitoring.

Keywords: geocology, sounding, cryokarst processes, exogenous processes

Значительная часть территории Земли, в том числе и в нашей стране, приходится на область вечной мерзлоты, или, по-другому, криолитозоны. Её составляют мерзлые, морозные и охлажденные породы. По своему происхождению они являются застывшей магмой, осадочными образованиями, а также легкими песчаниками или могут быть сложенными из галечных пород [1]. Особенностью криолитозоны является возможность строительства на них зданий

и сооружений, которые будут крепкими. Однако экзогенные процессы, происходящие в криолитозоне, могут негативно влиять на хозяйственную деятельность человека. Так, известны случаи образования термокарстовых воронок как результат протайки грунта. Это приводит к разрушению трубопроводов, их порыву, к просадкам дорог, деформации сооружений и др. [2].

Под криолитозонной понимается часть земной поверхности, сложенная магмати-

ческими и осадочными породами, которые представляют собой мерзлые, морозные и охлажденные породы. Главной её характеристикой является включение льда в составе пород, который в том числе выполняет связующую функцию. Криолитозона подвержена сезонным изменениям, когда может происходить таяние льда или, наоборот, промерзание пород. Всё это создаёт опасность для объектов инфраструктуры, расположенных в зоне вечной мерзлоты, в том числе и объектов нефтедобывающей промышленности [3-5].

Данные, необходимые для её исследования, обычно требуют много времени из-за сложных лабораторных исследований, иногда полевого бурения или сложного сбора проб.

Оценка упругих свойств вечной мерзлоты представляет собой научную задачу, которая включает в себя слои с контрастным поведением по глубине, боковые вариации в составе каждого слоя, инверсию скоростей и плотностей, а также различные сейсмические неупругие характеристики. Кроме того, сейсмические характеристики вечной мерзлоты наносят ущерб существующей инфраструктуре [6-8], что свидетельствует о значительном недостатке информации для надлежащей диагностики его поведения и содействия надлежащему управлению опасностями. Например, в некоторых местах криотурбация, связанная с таянием, приводит к сейсмическому разжижению, часто сопровождаемому песчаными вулканами [8], но иногда с крупномасштабным опусканием и потенциальными изменениями в дренажных системах [9].

В последние годы толщина вечной мерзлоты и ее сейсмические свойства картировались с помощью измерений сейсмического шума. Хороший пример представил Picotti S. с соавторами (2017) [10], которые подтвердили оценки с использованием методов радиолокационного зондирования, геоэлектрических и активных сейсмических исследований в ледниковых средах, таких как массивы Адамелло и Ортлес-Чеведале (Италия), Бернские Альпы Оберланд (Швейцария) и Ледяной поток Уилланс (Западная Антарктика). Их результаты показали, что резонансная частота в горизонтальном и вертикальном спектральном отношении (HVSR) хорошо коррелирует с толщиной льда на участке в широком диапазоне от нескольких десятков метров до более чем 800 м, даже позволяя надежно оценить сейсмические

свойства. Многолетняя мерзлота Арктики имеет слоистую структуру и включает широко распространенные подземные льды и непромерзшие (таликовые) зоны [11].

Сегодня имеющиеся тенденции к повышению средней температуры воздуха на нашей планете способствуют изменениям, которые имеют свое место и на территории ХМАО-Югры. Динамика данных изменений фиксируется уже с начала прошлого века. На этом фоне имеют место тенденции к небольшому повышению осадков в среднегодовом значении. Данные климатические процессы, как ожидается, будут приводить к деградации зоны вечной мерзлоты, заболачиванию местности и увеличивать распространенность аласов, которые представляют собой плоскостные понижения в местах таяния подземных льдов [3].

Исследователи прогнозируют, что если на северных территориях нашей страны среднегодовая температура станет выше, чем на 1-1,5 °C, это будет способствовать уменьшению территорий многолетней мерзлоты, в результате чего её граница отодвинется более чем на 100-150 км на север. Данный процесс прогнозируется уже в ближайшие 30-40 лет [4].

В этой связи оценка распространенности процессов деградации вечной мерзлоты и образующихся геологических образований в виде термокарстов на сегодня становится крайне актуальной. Данные, представленные в статье, позволяют предложить использование современных технологий, основанных на совокупности применения классических и инновационных способов исследования для оценки процессов деградации подземных льдов.

Потому актуальным является исследование процессов, происходящих в зоне вечной мерзлоты, для предупреждения ущерба, который может быть нанесен инфраструктуре. Исходя из этого, была определена цель нашей работы.

Цель исследования: проанализировать текущее влияние развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового комплекса ХМАО-Югры.

Материал и методы исследования

Исследование термокарстовых процессов

Исследование сложного строения вечной мерзлоты со скоплениями свободного газа и газогидратов до глубины 500 м представляет собой сложную задачу. Ис-

пользование сейсморазведки [12] и резистивной (CSEM) [12] разведочной геофизики для обнаружения газовых карманов и газовых гидратов в незамерзших породах является полезным опытом [13], но эти методы с трудом различают зоны вечной мерзлоты и газогидратов, которые имеют сходные удельное сопротивление и акустические характеристики. Приповерхностный слой чаще всего исследуется сейсморазведкой, радиолокационной и электроразведкой, а также частотным и временным электромагнитным зондированием [14]. Методы удельного сопротивления включают вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), модифицированную томографию удельного электрического сопротивления (ЭРТ), георадарное зондирование (GPR) и зондирование нестационарных электромагнитных полей (ПЭМ) [15].

МЗСБ – это метод зондирования сейсмическими волнами, который используется при электроразведочных работах для изучения криолитозоны Западной Сибири [16]. МЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) является примером индуктивных методов георазведки с использованием электрических разрядов. Достоинство МЗСБ состоит в возможности получения детализированного изображения. Это связано с тем, что под слоями пород, которые плохо проводят электрический импульс (участок замороженных грунтов), находятся электропроводящие слои. Исходя из этого, возможно определить глубины залегания мерзлых пород и провести их дифференциацию с другими слоями [17]. Таким образом, электроразведочные работы МЗСБ являются важным инструментом для изучения криолитозоны Западной Сибири. Они позволяют определить геологическое строение территории, глубину залегания криолитозоны и её структуру, что помогает улучшить процессы её добычи и использования.

Перспективными методами являются приемы, основанные на изучении данных, полученных путем спутниковой съемки [18-19].

Природно-геологические факторы

Климат ХМАО-Югры (Ханты-Мансийской автономный округ – Югра) отличается длительным зимним периодом с преобладанием низких отрицательных температур воздуха, а также заморозками, которые происходят в межсезонные периоды. Лето непродолжительное, с большим количеством

солнечных дней. Для климата территории характерна быстрая сменяемость температуры воздуха, чаще всего – в межсезонье. Всё это характеризует климат ХМАО-Югры как резко континентальный. Продолжительность солнечного сияния составляет 1700-1900 ч, что выше показателей для западной части нашей страны. Зимний период длится от 175 до 196 дней, при этом снежный покров держится более 6 месяцев. Средняя температура января (месяц с наименьшими температурами воздуха) варьирует от -18.2°C (Леуши) до -24.2°C (Нумто) [20].

Рассматриваемая территория располагается в центральной части Западно-Сибирской плиты, имеющей гетерогенный фундамент. Последний перекрыт в стратиграфической последовательности морскими и континентальными осадочными породами юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, формирующими мощный (3000–3800 м) мезозойско-кайнозойский платформенный чехол. Основная часть разреза чехла (юра – мел – палеоген) вскрыта большим количеством поисковых, структурнокартировочных, разведочных и эксплуатационных скважин. На рассматриваемой территории выделены осадки неоплейстоцена и голоцена, представленные ледово-бассейновыми и континентальными накоплениями. Среди последних широким распространением пользуются озерно-аллювиальные, озерно-морские, аллювиальные отложения, покровы субэвральных, болотных, эоловых и делювиальных образований [21, с. 10].

Ханты-Мансийский автономный округ занимает центральную часть Западно-Сибирской низменности, протянувшись с запада на восток почти на 1400 км от Уральского хребта до Обско-Енисейского водораздела. С севера на юг округ простирается приблизительно на 800 км. Протяжённость границ округа составляет 4750 км [22].

В рельефе изучаемой территории можно выделить два преобладающих ландшафта – горный и равнинный [22] (рис. 2).

На равнинной местности, по которой проходит бассейн Оби в её средней части, отмечается обводненность грунтов и их заболоченность. Это оказывает воздействие на произрастающую растительность и её видовой состав и разнообразие. В условиях горных территорий округа границы подзон распределены неравномерно, так, у подножия гористых областей, где преобладают холодные ветра, границы смещаются южнее [23, с. 242].

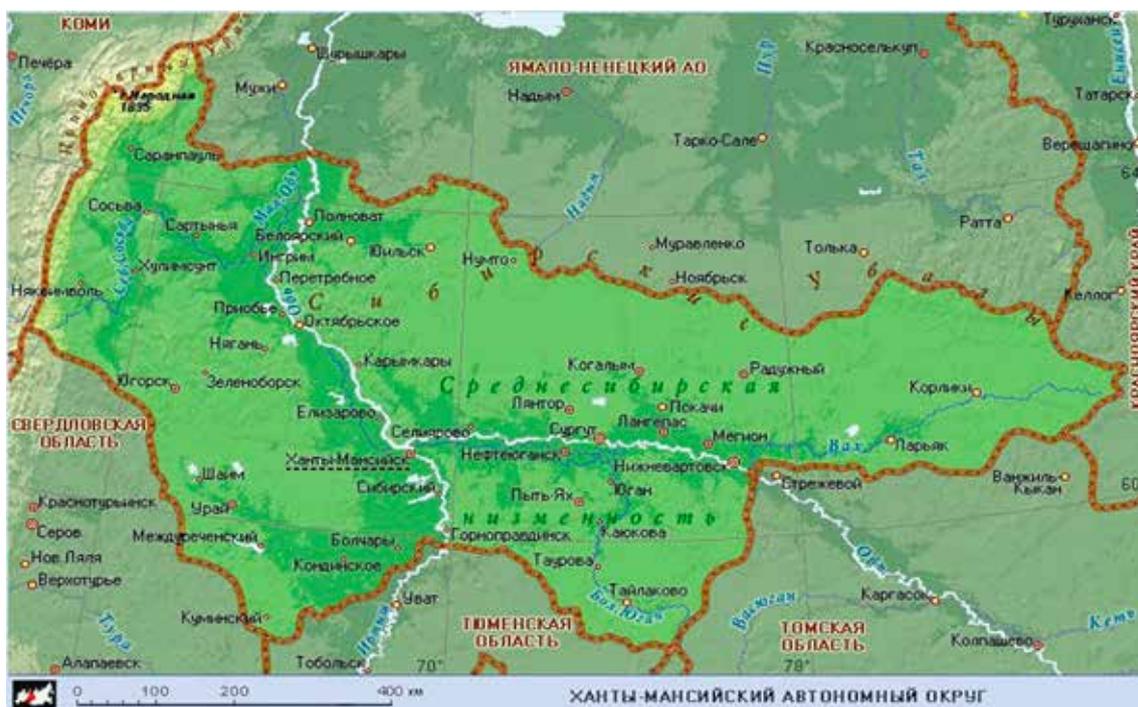


Рис. 1. Карта рельефа территории ХМАО – Югры [22]

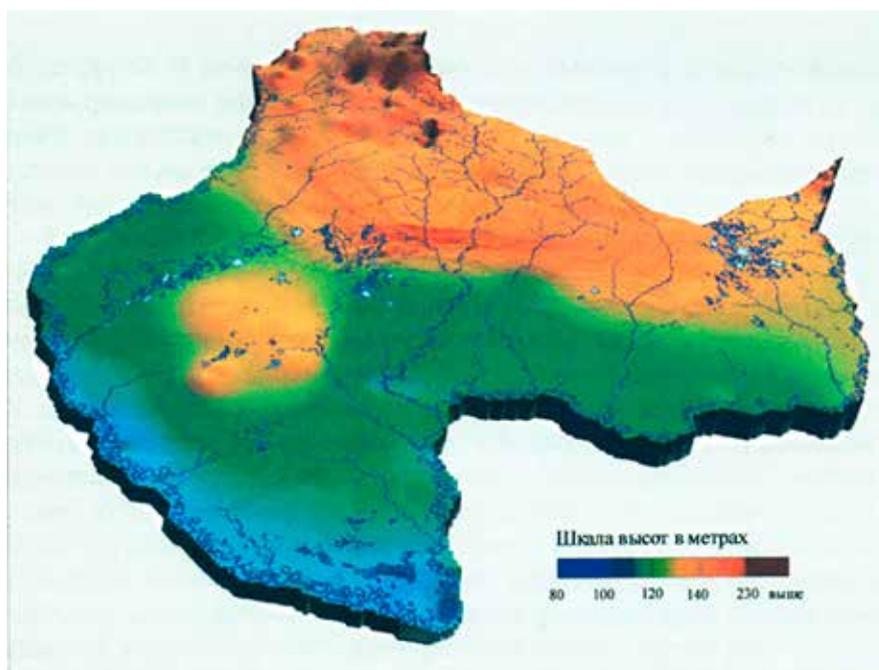


Рис. 2. Карта рельефа территории ХМАО-Югры [22]

В тектоническом отношении изучаемый район находится в пределах Западно-Сибирской плиты, относится к территории Обской синеклизы (рис. 3).

На изучаемой территории протекают реки Обь с притоком Иртышом. Реки в ХМАО-Югре характеризуются весенним

половодьем, осенним подъемом воды. Более 30% территории заболочено. На территории округа находится 300 тыс. озёр. Опасность для экологии представляет попадание в поверхностные воды соединений, опасных для живых организмов, например продуктов нефтепромысла [23, с. 242].

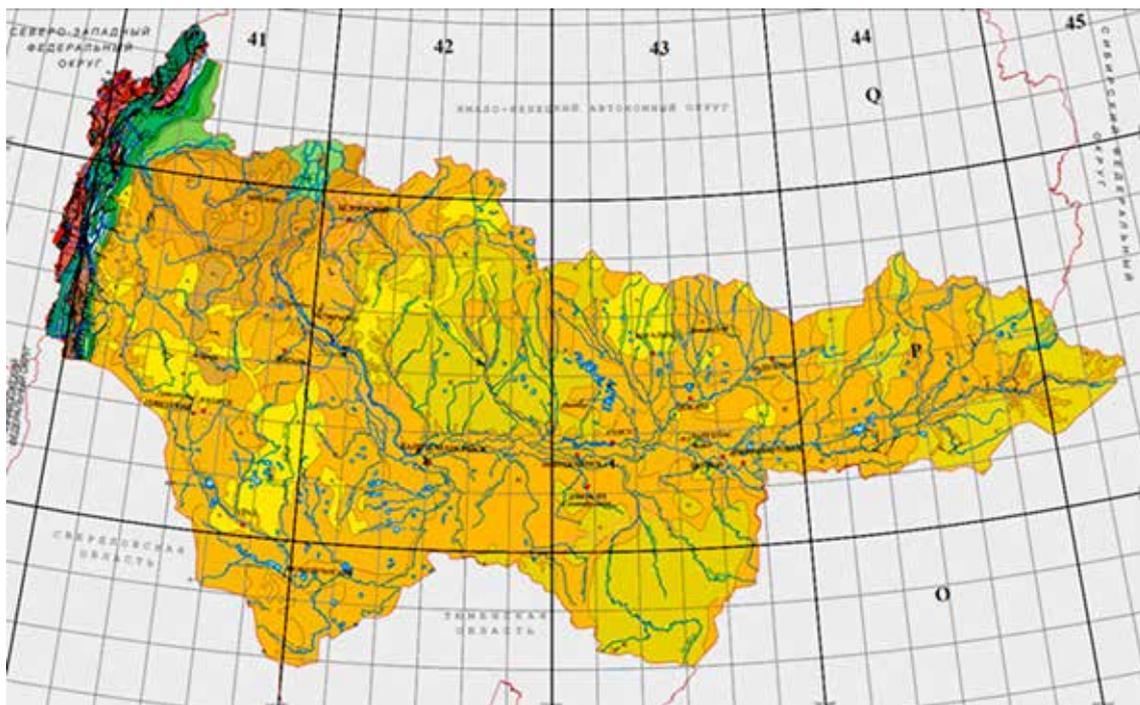


Рис. 3. Геологическая карта территории ХМАО-Югры [24]



Рис. 4. Карта вечной мерзлоты Российской Федерации – 65% [24]

Зона распространения вечной мерзлоты на Земле занимает примерно четверть её территории. В Северном полушарии вечная мерзлота занимает более 22 млн км², из которых на долю нашей страны приходится примерно половина подземных льдов. В России

65% территории, в том числе 85% территории Сибири, приходится на область вечной мерзлоты, которая распространяется вглубь до полутора километров (рис. 4). Температура данного слоя при продвижении вглубь литосферы колеблется от минус 10–15 °С и ниже [24].

Таблица 1

Опасные геологические процессы на территории ХМАО-Югры [26, с. 121]

Генетический тип опасного экзогенного геологического процесса (ЭГП)	Площадь (протяженность) проявлений опасных ЭГП, км ² (км)	Количество проявлений опасных ЭГП, ед.	Частотный коэффициент пораженности опасными ЭГП, ед./км ² (ед./км)
Обвалы	0,153	2	н.д.
Оползни	0,18	5	н.д.
Осыпи	0,01	1	н.д.
Пт	1,1	2	н.д.
Солифлюкция	0,25	1	н.д.
Суффозионные процессы	0,014	32	3,03
Овражная эрозия (г. Ханты-Мансийск)	25	42	3,98
Эо (Горноправдинский)	2,18	4	0,8
Эо (Бобровский)	1,47	4	0,8

Наличие обводненных грунтов, заболоченность территорий с невысокими температурами летом и низкими отрицательными – зимой, большая глубина замерзания почв, отсутствие плодородных грунтов и малое количество растительных остатков определяют низкую продуктивность почвенного покрова [24].

С учётом вышеперечисленных особенностей территории округа, почвы представлены следующими разновидностями:

- на залесенных участках – торфяно-подзолисто-глеевые и дерновослабоподзолистые;

- на заболоченных – болотные верховые и низинные;

- в поймах рек – аллювиальные дерновые, аллювиальные луговые и аллювиальные болотные. Отличительной чертой почвенного покрова ХМАО-Югры является повышенный гидроморфизм и чрезвычайно сильная заболоченность. Торфяно-подзолисто-глеевые почвы занимают плоские поверхности водоразделов. Почвы сильнокислые, малогумусные, в составе органического вещества преобладают фульвокислоты. Дерново-слабоподзолистые почвы имеют слабокислую реакцию, малогумусные и обладают малой емкостью обмена [25].

В таблице 1 представлены данные по опасным геологическим процессам на территории ХМАО-Югры.

Источники данных

При оценке влияния развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового

комплекса ХМАО-Югры были использованы данные научных исследований, отчетов о геологических исследованиях термокарстовых процессов. Обобщение и анализ информации об активизации опасных экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты по территории ХМАО-Югры проводили на основании информации об активизации опасных ЭГП, полученной из следующих источников:

- наблюдения на пунктах государственной опорной наблюдательной сети (далее – ГОНС) государственного мониторинга опасных ЭГП;

- результаты проведения плановых и оперативных инженерно-геологических обследований территорий, подверженных негативному воздействию опасных ЭГП;

- проверенная информация из открытых источников.

На территории ХМАО-Югры обследуются пункты государственной опорной наблюдательной сети государственного мониторинга опасных ЭГП; на территории Ямало-Ненецкого автономного округа 4 пункта: Салехардский, Обской, Сеяхинский и «массив Рай-Из» участки.

Кроме того, на территориях ХМАО-Югры и ЯНАО проводятся плановые инженерно-геологические обследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Интенсивное таяние мерзлоты в торфяных буграх плоскобугристых и крупнобугристых комплексов приводит к развитию

местами катастрофически усилившегося термокарста, выражающегося в формировании просадок, в зависимости от их глубины либо сохраняющих дренированный характер, либо подверженных переобводнению. Усилению протаивания способствуют и экстремальные погодные явления, частота которых заметно возросла в регионе в последние годы. Так, по данным метеостанции Ханты-Мансийска, чрезвычайной засушливостью отличался весенне-летний сезон 2012 г., в течение которого в мае выпало лишь 25% осадков от нормы, в июле – 62%, в августе – 60%, причем в июне (при значениях осадков, близких к норме) наблюдалась рекордная за 120 лет жара с превышением нормы почти на 5°. В 2014 г., наоборот, середина вегетационного сезона оказалась экстремально влажной – в июле выпало рекордное за 120 лет количество осадков, составляющее 341% от нормы. Последнее обстоятельство, в частности, привело во многих случаях к поднятию уровня воды в мочажинах выше торфяной поверхности, затоплению краевых частей мерзлых бугров с последующим их необратимым протаиванием и проседанием [20].

По информации ГУ МЧС России по ХМАО-Югре, в пос. Выкатной Ханты-Мансийского района отмечается активизация гравитационного комплекса процессов в парагенезисе с речной (береговой) эрозией. В границах населенного пункта, на протяжении 700 м произошло разрушение левого берега р. Конда высотой до 3 м, с его отступанием на 7-10 м в направлении жилой застройки в северной части поселка [27].

Случаи активизаций экзогенных геологических процессов, зафиксированных на территории ХМАО-Югры

Обзор характеристик региональных особенностей развития опасных ЭГП на территории ХМАО-Югры.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа получили развитие следующие основные виды опасных ЭГП: комплекс гравитационных процессов (оползни, обвалы, осыпи), подтопление, суффозия, эрозия овражная и плоскостная. В северной части округа развивается криогенный комплекс процессов (рис. 5) и дефляция. В III квартале 2022 года, по данным метеостанции Ханты-Мансийска, осадков выпало значительно меньше нормы (46%), при повышенном температурном фоне, что предполагает низкую активность процессов, за исключением комплекса криогенных [28].

Согласно справке, подготовленной ФГБУ «ВСЕГЕИ», на территории Ханты-Мансийского автономного округа развиваются криогенные процессы. Процессы таяния вечной мерзлоты с образованием термокарстовых озер фиксируются в бассейнах рек Обь, Иртыш и их притоках. Формы проявления термокарста на территории округа многообразны: ложбины стока, воронки, западины, озера. Скорость термокарста и термоэрозии в среднем составляет 0,5–1 м/год. На правобережье р. Обь для I надпойменной террасы характерен грядово-мочажинный микрорельеф торфяников.

Для ландшафта I надпойменной террасы левобережья р. Иртыш характерны формы рельефа, обусловленные термоабразией.



Рис. 5. Геокриологические процессы на территории ХМАО-Югра

В пределах округа широко распространён процесс криогенного пучения. Процесс криогенного пучения приводит к образованию многолетних бугров пучения различного размера и происхождения. Бугры пучения развиты в пределах всех геоморфологических уровней (кроме поймы и предгорий Урала), но особенно часто они встречаются на уровнях I, II, III и IV надпойменных террасах. Бугры пучения образуются на всей территории округа, в том числе и в болотистой местности, редко превышая высоту в 2-2,5 м. В этой связи для предупреждения разрушения зданий и сооружений следует обеспечить закладку оснований для них ниже уровня мерзлоты для обеспечения стабильности фундамента. Одним из способов защиты сооружения является обустройство дренажей и водонепроницаемых слоев с укладкой специальных материалов, а также отсыпка территорий, продухи в подвалах и др. [28].

На территории округа активно происходит разработка месторождений полезных ископаемых, нефти и газа, что приводит к развитию тектонической трещиноватости. За период наблюдений (2010-2020) в округе отмечены землетрясения маленькой амплитуды, очаг которых находится практически на поверхности. Такие толчки обусловлены антропогенной деятельностью, связанной с выкачиванием нефти и газа в месторождениях [29]. Чаще всего сейсмические толчки приурочены к территории вокруг разломов. Так как при этом происходит движение земной коры, это ведет к нарушению целостности зданий и сооружений, разрыву трубопроводов, авариям на буровых установках и т.д.

Таким образом, на территории округа существуют зоны, в которых идут активные тектонические процессы. В данных местностях разработка месторождений сопряжена с определенным риском. Территория вокруг разломов также неблагоприятна для ведения промышленной деятельности. При этом для выявления тектонически активных зон только снимков, полученных со спутников, оказывается недостаточным, и требуется привлечение дополнительных методов.

Сегодня для изучения неблагоприятных геологических процессов (просадок грунта, образование озер и т.д.), в том числе вблизи объектов жизненно важной инфраструктуры и предприятий нефтегазодобывающей промышленности, всё чаще используют данные, полученные путем спутниковой съемки. Полученные снимки обрабатываются по специальному алгоритму в соответствии с требуемыми целями и совмещаются с картой мест-

ности. Методы с применением космических снимков позволяют отслеживать изменения геологии вблизи объектов газо- и нефтедобычи, трубопроводов, перемещения поверхности в любом направлении. Данный метод применим как к небольшим объектам (например, участок месторождения), так и обширным областям земной поверхности [18].

Изучаемые экзогенные геологические процессы (далее ЭГП) выражаются чаще всего как нарушение привычного рельефа местности, изменения земной поверхности в различных плоскостях, перемещение продуктов деградации рельефа и седиментогенез [19]. ЭГП также наблюдаются и как результат антропогенной деятельности. Рассмотрим основные виды факторов, влияющих на их развитие.

Долгое время процессам, происходящим в криолитозоне на территории ХМАО-Югра, не уделялось должного внимания и не проводилась систематизация данных. Первое обобщающее исследование на основе изучения космических снимков в период с 1984 г. было проведено М.А. Куприяновым и Ю.М. Полищук. В ходе проведенного анализа ими изучалась степень нарушения геокриологических нарушений земной поверхности и составлена картосхема. При этом зоны повышенной геокриологической опасности были обнаружены в Сургутском и Нижневартовском районах [30].

Вурц Т. с соавторами был проведен мониторинг проекта прокладки трубопровода для перекачки нефти «Лянтор – Нягань». Проект предусматривает сооружение трубопровода на территории вечной мерзлоты с имеющимися термокарстами. Активность процессов таяния вечной мерзлоты можно отследить по количеству вновь образующихся термокарстовых водоемов. Вурц Т. с соавторами для оценки динамики процессов таяния вечной мерзлоты применял подсчет площади озер. Для этого исследовались снимки, полученные при помощи съемки космическими спутниками в разные временные периоды. Были взяты снимки за предыдущие 7; 5; 3 и 1 год, которые были совмещены с географической картой местности с проектом прокладки трубопровода. Было показано, что в данной местности, несмотря на активные ЭГП, площадь озер изменилась статистически незначимо. Однако авторами исследования было сделано заключение, что повышается территория, на которой грунты насыщены водой. Это позволило выявить корреляцию между увеличением площади озёр и уменьшением

Ученые прогнозируют, что в ближайшие десятилетия это приведет к увеличению рисков образования термокарстов и аласов, что потребует значительных финансовых затрат для устранения последствий ЭГП. Поэтому данные, представленные в статье, могут стать основой для выработки программ, направленных на уменьшение числа аварий и происшествий на жизненно важных объектах инфраструктуры и предприятиях нефте- и газодобычи на территориях с вечной мерзлотой.

Заключение

На территории ХМАО-Югры, по результатам регулярных обследований и по информации из открытых источников, отмечаются случаи активизации опасных ЭГП, несущих существенный риск для объектов нефтегазового комплекса, а также жизненно важной инфраструктуры. Воздействие опасных ЭГП на объекты нефтегазовой инфраструктуры возникает также за счет активизации в термокарстах. Закономерности формирования и прогнозирования природных и техногенных геологических систем в процессе недропользования; геологическая и экологическая безопасность городов и объектов инфраструктуры недропользования является приоритетным направлением при прогнозе развития неблагоприятных событий и моделировании чрезвычайных ситуаций. Контроль активизации экзогенных геологических процессов с официально объявленными ЧС природного и техногенного характера требует непрерывного наблюдения со стороны предприятий-недропользователей, внедрения превентивных мер, а также управленческого супервайзинга процесса.

Таким образом, нами было проанализировано текущее влияние развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового комплекса ХМАО-Югры, в результате чего был сделан вывод о необходимости продолжения исследований по данной теме с привлечением новых методов исследования и обобщения ранее полученного материала для прогнозирования и мониторинга потенциально опасных геологических процессов, проходящих в зоне вечной мерзлоты на территории округа.

Список литературы

1. Шеин А.Н., Камнев Я.К. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемёрзлых пород в естественных и антропогенных условиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2020. № 3. С. 42-50.
2. Васильев Г.Г., Джалибов А.А., Леонович И.А. Анализ причин возникновения деформаций инженерных сооружений объектов газового комплекса в криолитозоне // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 377-385.
3. Полищук Ю.М., Куприянов М.А. Изучение динамики термокарстовых озер Западно-Сибирской Арктики на основе анализа временных рядов спутниковых измерений // Вестник Югорского государственного университета. 2022. № 3 (66). С. 133-140.
4. Полищук Ю.М., Муратов И.Н., Полищук В.Ю., Байсалимова О.А., Куприянов М.А. Исследование закономерностей пространственной структуры и динамики термокарстовых озер в зоне мерзлоты Сибири в условиях климатических изменений по спутниковым снимкам // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 03-05 октября 2019 г). Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2019. С. 138-142.
5. Хомутов А.В., Бабкин Е.М., Тихошрава Я.В., Хайруллин Р.Р., Дворников Ю.А., Бабкина Е.А., Каверин Д.А., Губарьков А.А., Слагода Е.А., Садуртдинов М.Р., Судакова М.С., Королёва Е.С., Кузнецова А.О., Факашук Е.Ю., Сошенко Д.Д. Комплексные исследования криолитозоны северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1. С. 53-64.
6. Melvin A.M., Larsen P., Boehlert B., Neumann J.E., Chinowsky P., Espinet X., Martinich J., Baumann M.S., Rennels L., Bothner A., Nicolsky D. J., Marchenko S. S. Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2017. Vol. 114. No. 2. P. E122-E131. DOI: 10.1073/pnas.1611056113.
7. Hjort J., Streletskiy D., Doré G., Wu Q., Bjella K., Luoto M. Impacts of permafrost degradation on infrastructure // Nature Reviews Earth & Environment. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 24-38. DOI: 10.1038/s43017-021-00247-8.
8. Misyurkееva N., Buddo I., Shelokhov I., Smirnov A., Nezhdanov A., Agafonov Y. The structure of permafrost in northern West Siberia: Geophysical evidence // Energies. 2022. Vol. 15. No. 8. P. 2847. [Электронный ресурс]. URL: DOI: 10.3390/en15082847.
9. van Thienen-Visser K., Breunese J.N. Induced seismicity of the Groningen gas field: History and recent developments // The Leading Edge. 2015. Vol. 34. No. 6. P. 664-671. DOI: 10.1190/tle34060664.1.
10. Picotti S., Francese R., Giorgi M., Pettenati F., Carcione J.M. Estimation of glacier thicknesses and basal properties using the horizontal-to-vertical component spectral ratio (HVSR) technique from passive seismic data. Journal of Glaciology. 2017. Vol. 63. No. 238. P. 229-248. DOI: 10.1017/jog.2016.135.
11. Smith S.L., O'Neill H.B., Isaksen K., Noetzli J., Romanovsky V.E. The changing thermal state of permafrost // Nature Reviews Earth & Environment. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 10-23. DOI: 10.1038/s43017-021-00240-1.
12. Constable S. Water and Electricity Do Mix: Studying Plates, Petroleum, and Permafrost using Marine Electromagnetism // AGU Fall Meeting Abstracts. 2015. Vol. 2015. P. GP24B-01.
13. Boswell R., Bünz S., Collett T. S., Frye M., Fujii T., McConnell D., Shin K. S. Introduction to special section: Exploration and characterization of gas hydrates // Interpretation. 2016. Vol. 4. No. 1. P. SAI-SAii. DOI: 10.1190/INT-2016-0103-SPSEINTRO.1.
14. Oldenborger G.A., LeBlanc A.M. Geophysical characterization of permafrost terrain at Iqaluit International Airport, Nunavut // Journal of Applied Geophysics. 2015. Vol. 123. P. 36-49. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2015.09.016.
15. Léger E., Dafflon B., Soom F., Peterson J., Ulrich C., Hubbard S. Quantification of arctic soil and permafrost properties using ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography datasets // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2019. Vol. 12. No. 1. P. 1-12. DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2852111.

Earth Observations and Remote Sensing. 2017. Vol. 10. No. 10. P. 4348-4359. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2694447.

16. Агеев В.В., Агеев Д.В. Изучение мерзлых разрезов Якутии с помощью зондирования становлением поля в ближней зоне и вертикального электрического зондирования методом вызванной поляризации // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 64-69.

17. Желтенкова Н.В., Гагарин В.Е., Кошурников А.В., Набиев И.А. Режимные геокриологические наблюдения на высокогорных перевалах Тянь-Шаня // Арктика и Антарктика. 2020. № 3. С. 25-43.

18. Якутин М.В., Анопченко Л.Ю., Пучнин А.Н. Особенности экологического мониторинга озер Сибири в условиях глобального изменения климата // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 2 № 4. С. 133-144.

19. Калиничева С.В. Выявление и картографирование мерзлых и талых пород с использованием космических снимков в горных районах криолитозоны (на примере Олекмо-Чарского нагорья в Южной Якутии) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24. № 2. С. 71-82.

20. Шаматов Е.Н., Московченко Д.В. Типология и динамика болотных экосистем северной тайги Западной Сибири в условиях воздействия нефтегазового комплекса (на примере природного парка Нумто) // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 6. С. 933-943.

21. Зубаков В.А. Новейшие отложения Западно-Сибирской низменности. Л.: Тр. ВНИГНИ, 1972. 310 с.

22. Экологический парк Югры [Электронный ресурс]. URL: <https://aaningsitir.ru/areas/registry/1/1>. (дата обращения: 09.05.2023).

23. Евсеева Н.С., Земцов А.А. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 240 с.

24. Клец П.К. Устройство дорожного полотна в условиях вечной мерзлоты // Молодой ученый. 2021. № 3 (345). С. 125-129.

25. Алексеева М.Н., Головацкая Е.А., Яценко И.Г., Пустовалов К.Н. Среднетаежные леса ХМАО в условиях нефтегазодобычи // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН (г. Москва, 25–29 апреля 2022 г.). М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2022. С. 145-148.

26. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Уральского федерального округа Российской Федерации в 2018 г. Выпуск 19, ФГБУ «Гидроспецгеология», филиал «Уральский региональный центр ГМСН». Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2019. 220 с.

27. Информационная сводка. «О проявлениях экзогенных геологических процессов на территории УрФО за III квартал 2022 г». Екатеринбург: ФГБУ «Гидроспецгеология», Филиал Уральский региональный центр ГМСН. С. 13-18.

28. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 15.03.2022 [Электронный ресурс]. URL: http://atlaspacket.vsegei.ru/Documents/RUSSIA_2022/RESULT/Справки%20МСБ%20на%2015.03.2022/УФО/MSB_НМАО_15.03.2022.pdf?475.9910305586035 (дата обращения: 29.05.2023).

29. Карта землетрясений. [Электронный ресурс]. URL: <https://voshod-solnca.ru/earthquake/ханты-мансийск> (дата обращения: 24.05.2023).

30. Куприянов М.А. Исследование изменений термокарстовых процессов на территории ХМАО по космическим снимкам // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: сб. науч. ст. по материалам I региональной молодежной конференции им. В. И. Шпильмана «Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири» (г. Ханты-Мансийск, 25-26 марта 2013 г.). Ханты-Мансийск: Институт развития образования, 2013. С. 133-135.

31. Вурц Т.В., Кабанов Е.В., Юрлов М.А. Мониторинг термокарстовых процессов в криолитозоне на линейной части магистрального трубопровода // НаукоСфера. 2021. № 7-2. С. 180-188.

32. Ходжаева Г.К. Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: монография. Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского государственного университета, 2016. 132 с.

33. Копылов И.С., Голдырев В.В., Ковин О.Н. О научном направлении – НШ «Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность» // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 17–18 ноября 2015 г.). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. С. 19-27.