

СТАТЬИ

УДК 504.054
DOI 10.17513/use.38477



CC BY 4.0

**ОСОБЕННОСТИ ЗОНИРОВАНИЯ
ОПАСНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ЗАДАЧАХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

Лавренчук В. А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»,
Москва, Российская Федерация, e-mail: lavrenchuk.v.a@mail.ru*

Контроль изменений геологической среды на месторождениях углеводородов включает геодинамический, геокриологический, геотехнический, гидрогеологический и экологический мониторинг. Комплексная оценка геологической среды требует использования единого подхода, учитывающего совместное воздействие опасных геоэкологических процессов. Угрозы глобального потепления, активизация опасных природных процессов и увеличение техногенной нагрузки обуславливают актуальность геоэкологического зонирования. Целью исследований является анализ, обоснование и апробация подходов к зонированию опасных природных и техногенных процессов в задачах геоэкологического мониторинга месторождений нефти и газа. Рассмотрены применяемые формы дифференциации территории месторождений, связанные с обеспечением промышленной и экологической безопасности. Предложена формулировка определения геоэкологического зонирования территории. Апробация геоэкологического зонирования проведена на примере Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. Используются методы анализа научных материалов и результатов геоэкологического мониторинга, дистанционного зондирования Земли, линейного анализа территории с применением специализированной геоинформационной системы. Проседание горных пород на месторождении связывается с добычей углеводородов. Выявлена потребность дополнительного анализа причин геодинамических подвижек, с учетом геокриологических изменений, в том числе обусловленных температурными трендами приземного слоя атмосферы, вызванными эмиссией парниковых газов. Зонирование опасных геоэкологических процессов призвано минимизировать чрезвычайные ситуации, повысить эффективность инженерной защиты сооружений, распределения финансовых и материальных ресурсов, разработки инновационных природоохранных технологий и способствовать скорейшему решению геоэкологических проблем.

Ключевые слова: опасные природные процессы, опасные техногенные процессы, геоэкологический мониторинг, зонирование, опасные геодинамические процессы, опасные геокриологические процессы, геологическая среда

**FEATURES OF ZONING OF DANGEROUS
GEOECOLOGICAL PROCESSES IN GEOECOLOGICAL
MONITORING OF OIL AND GAS DEPOSITS**

Lavrenchuk V. A.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)»,
Moscow, Russian Federation, e-mail: lavrenchuk.v.a@mail.ru*

Control of changes in the geological environment at hydrocarbon fields includes geodynamic, geocryological, geotechnical, hydrogeological, and environmental monitoring. A comprehensive assessment of the geological environment requires a unified approach that considers the combined impact of hazardous geoecological processes. The threats of global warming, the intensification of hazardous natural processes, and the increasing anthropogenic load underscore the relevance of geoecological zoning. The objective of the research is to analyze, justify, and test approaches to zoning hazardous natural and anthropogenic processes in the context of geoecological monitoring of oil and gas fields. Applied forms of territory differentiation related to ensuring industrial and environmental safety are considered. A definition of geo-ecological zoning of the territory has been proposed. The geoecological zoning was tested using the Urengoy oil and gas condensate field as an example. Methods of analyzing scientific materials and the results of geo-ecological monitoring, remote sensing of the Earth, and linear analysis of the territory using a specialized geographic information system were used. The need for additional analysis of the causes of geodynamic movements has been identified, considering geocryological changes, including those caused by temperature trends in the atmospheric boundary layer, driven by greenhouse gas emissions. Zoning of hazardous geoecological processes is intended to minimize emergencies, increase the efficiency of engineering protection of structures, allocate financial and material resources, develop innovative environmental protection technologies, and contribute to the prompt resolution of geoecological problems.

Keywords: hazardous natural processes, hazardous anthropogenic processes, geo-ecological monitoring, zoning, geological environment, hazardous geodynamic processes, hazardous geocryological processes

Введение

Важным элементом устойчивого развития территорий нефтегазового комплекса (НГК) является учет воздействия опасных природных и техногенных геоэкологических факторов. Серьезную потенциальную угрозу для природных систем и безопасности людей представляет глобальное потепление [1]. Наиболее остро геоэкологические проблемы, связанные с изменением климата, проявляются в Арктической зоне. Арктические территории отличаются суровыми климатическими условиями, наличием многолетней мерзлоты, геодинамически активных зон, переувлажнением, низкой биологической продуктивностью, низким восстановительным потенциалом и повышенной уязвимостью ландшафтов. Наряду с активизацией природных источников в Арктике происходит увеличение интенсивности техногенной нагрузки на окружающую среду (ОС).

В настоящее время на территории месторождений нефти и газа для контроля геологической среды используются системы геодинамического, геокриологического, геотехнического, гидрогеологического и экологического мониторинга, которые выполняются различными подразделениями организаций. Для решения задач оценки параметров геологической среды целесообразно использование системного подхода к решению задач геоэкологического мониторинга в рамках единой автоматизированной системы наблюдения за источниками опасных природных и техногенных процессов (ОПТП).

На данный момент понятия «геоэкологический мониторинг» и «геологическая среда» в нормативных документах РФ строго не закреплены и трактуются по-разному различными авторами. В вышеуказанном аспекте целесообразно упомянуть определение одного из основоположников мониторинга геологической среды Королева В. А., 1995 г., в котором он под мониторингом геологической среды понимал систему постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или какой-либо ее частью, проводимую по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической системы¹.

В современных определениях геоэкологический мониторинг представлен как система наблюдений, оценки, прогноза и

управления изменениями окружающей человека среды, вызванными природными и антропогенными факторами, в том числе техногенным воздействием. В современных определениях геоэкологического мониторинга подчеркивается его междисциплинарный характер, интеграция с новыми технологиями и ориентация на устойчивое управление природными ресурсами.

Для выявления позиции зонирования опасных геоэкологических процессов перечислим основные задачи геоэкологического мониторинга при освоении подземного пространства (задачи детально рассмотрены Е. Ю. Куликовой, 2013 г.):

- получение данных о состоянии, свойствах и структуре геологической среды в районе размещения подземного сооружения и смежных районах;
- организация контроля и наблюдения за изменениями геологической среды, обусловленными горно-строительной деятельностью;
- обеспечение всех заинтересованных организаций своевременной информацией о состоянии геологической среды в районе освоения подземного пространства и ее изменениях;
- оценка количественных и качественных изменений геологической среды и тенденций их развития на протяжении всего жизненного цикла подземного сооружения;
- моделирование и составление прогнозов (кратко- и долгосрочных) изменения геологической среды под влиянием подземного строительства;
- оценка реакции экосистем на различные типы изменений состояния геологической среды, связанные, главным образом, с горно-строительными процессами;
- обеспечение задач управления использованием геологической среды необходимой информацией [2].

За основу термина «геологическая среда» в данной работе принято определение геологической среды по Сергееву Е. М., 1979: «геологическая среда – это верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность» [3]. Перечисление компонентов, составляющих геологическую среду, приведено в определении СП 47.13330.2016, согласно которому геологическая среда – это верхняя часть литосферы, представляющая собой многокомпонентную динамическую систему (горные породы, подземные воды, газы, физические

¹ Королев В. А. Мониторинг геологической среды: учебник / Под редакцией В. Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995.

поля – тепловые, гравитационные, электромагнитные, сейсмические)². В качестве верхних границ геологической среды часто принимаются ландшафты, рельеф, почвы, а нижняя граница обуславливается уровнем развития науки и техники.

Включая во внимание ограничения указанных выше определений, предлагается подчеркнуть роль приземного слоя атмосферы (концентрируясь в данном случае на его влиянии как абиотического фактора) в части его воздействия на параметры криолитозоны и состояние горных пород. В приземном слое осуществляется непосредственное взаимодействие атмосферы с земной поверхностью и имеет место влияние активных геологических и техногенных процессов. Учитывая происходящие в настоящее время климатические изменения, данный аспект особенно актуален для добывающей отрасли, осуществляющей деятельность, непосредственно связанную с состоянием грунтов, и имеющей такие источники негативного воздействия на атмосферный воздух, как факельные установки, дизельные агрегаты и т.п.

В настоящее время в российском законодательстве закреплены понятия государственного мониторинга состояния недр и мониторинга состояния недр на участке недр, предоставленном в пользование. Государственный мониторинг состояния недр является частью государственного экологического мониторинга и включает: мониторинг подземных вод; мониторинг опасных экзогенных геологических процессов; мониторинг опасных эндогенных геологических процессов; мониторинг состояния недр^{3,4}. Информация о результатах государственного мониторинга состояния недр консолидируется в Федеральной государственной информационной системе состояния окружающей среды. Важно подчеркнуть, что в составе размещаемых в федеральной системе материалов присутствует информация о проявлениях и прогнозе развития экзогенных геологических процессов по территории РФ, об оценке изменений геодинамического состояния недр и степени сейсмической опасности сейсмоопасных

регионов России, а также об оценке состояния и прогнозирования региональной активности опасных геологических процессов⁵.

Мониторинг атмосферного воздуха является частью экологического мониторинга и нацелен на своевременное выявление изменений, угроз и превышений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. С 2015 года в РФ был введен мониторинг выбросов парниковых газов (ПГ). Особую актуальность вопрос мониторинга ПГ приобрел в свете массовой ликвидации скважин добычи углеводородов во всем мире. Тема активно обсуждается научным сообществом, так как связана с процессом глобального энергетического перехода и имеет международное значение. В зарубежных странах подлежит учету эмиссия ПГ, источниками которой являются ликвидированные скважины.

Одновременная активизация природных и техногенных источников ЧС требует разработки превентивных мер экологической и промышленной безопасности. Решение задач геоэкологического мониторинга предполагает выделение участков (зон) проявления ОПТП для оптимизации проведения мониторинговых наблюдений на выявленных территориях. Для этого целесообразно формирование «информационной системы» регулярного наблюдения, оценки и прогноза изменений состояния геологической среды, обусловленных природными и техногенными факторами, на протяжении всего жизненного цикла месторождения.

Целью исследований является анализ, обоснование и апробация подходов к зонированию опасных природных и техногенных процессов в задачах геоэкологического мониторинга территории месторождений нефти и газа.

Материалы и методы исследования

В процессе геоэкологического зонирования осуществляется выявление геоэкологических опасных процессов, анализ причин, факторов, влияющих на их проявление, оценка уровня опасности и установление границ распространения. Для этого целесообразно исследование комплекса показателей природных и техногенных опасностей. Зонирование ОПТП осуществляется начиная с этапа инженерных изысканий, затем результаты изысканий используются в процессе геоэкологического мониторинга и оцен-

² Свод правил СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», утв. Приказом Минстроя РФ от 30.12.2020 № 909/пр.

³ Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах».

⁴ Постановление Правительства РФ от 29.11.2023 г. № 2029 «Об утверждении Правил осуществления государственного мониторинга состояния недр и мониторинга состояния недр на участке недр, предоставленном в пользование».

⁵ Постановление Правительства РФ от 19.03.2024 № 329 «О федеральной государственной информационной системе состояния окружающей среды».

ки геоэкологических рисков территории на всех стадиях освоения месторождения.

Практическая апробация зонирования ОПТП в задачах геоэкологического мониторинга месторождений нефти и газа проведена на примере объектов Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ). Проанализированы особенности геологического строения, тектонической структуры, геологическая модель залежей углеводородов, природно-климатические и технологические особенности месторождения в аспекте основных геоэкологических проблем, а также источники и модели ОПТП.

Развитие систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий обуславливают возможность их применения для обеспечения комплексных геоэкологических наблюдений. Для выделения зон опасных геоэкологических процессов были использованы методы ДЗЗ, обеспечивающие контроль геодинамических, геокриологических процессов, загрязнения атмосферного воздуха, в том числе эмиссии ПГ, а также загрязнения нефтью и нефтепродуктами почвы и водоемов территории нефтегазопромыслов.

В процессе исследования территории промыслов накапливается огромный объем ценной информации, для оптимизации дальнейшего использования которой одним из перспективных способов является применение геоинформационных систем (ГИС). Использование специализированных ГИС обеспечивает возможность моделирования событий и выделения зон особого риска. ГИС выступают инструментами работы с информацией, то есть технические и программные средства используются для преобразования исходной информации, ее хранения, обработки и представления в удобном для пользования виде. Применение систем ДЗЗ и специализированных геопорталов мониторинговых наблюдений позволяет существенно дополнить, а в ряде задач заменить натурные полевые исследования бесконтактными дистанционными методами наблюдений индикаторов ОПТП [4].

Представленный подход ориентирован на использование визуализации моделирующих процедур ГИС в задачах управления безопасностью объектов НГК. В его основе лежит разработка поисковой системы, содержащей информацию о геопространственных и функциональных параметрах объектов НГК и идентификаторах опасных геоэкологических процессов. В процессе интерпретации полученных

материалов происходит выявление зон опасных геоэкологических процессов, открывающее возможности для дальнейшего моделирования ситуации, оценки геоэкологических рисков и планирования мероприятий промышленной и экологической безопасности. Реализация данного подхода обеспечивает сокращение потерь за счет применения обоснованных инженерно-технических решений.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время законодательством РФ предусмотрены следующие формы дифференциации территории, связанные с обеспечением промышленной и экологической безопасности.

Вокруг предприятий I и II класса опасности устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ)⁶. Экспертиза проектов СЗЗ осуществляется с учетом расчетов рассеивания загрязнений атмосферного воздуха и физических воздействий на атмосферный воздух (шум, вибрация, электромагнитные поля и пр.).

Территория объектов обустройства нефтяных и газовых месторождений с учетом функционального назначения и уровня пожаровзрывоопасности делится на следующие основные зоны: I зона (производственного назначения); II зона (подсобно-вспомогательного назначения); III зона (сооружения резервуарного хранения нефти, нефтепродуктов, конденсата общей приведенной вместимостью более 4000 м³ или единичной вместимостью резервуаров более 400 м³, сливноналивные эстакады); Ша зона (сооружения резервуарного хранения сырой и товарной нефти, нефтепродуктов, конденсата общей приведенной вместимостью от 1000 до 4000 м³ при единичной вместимости резервуаров не более 400 м³, резервуары (аварийные) ДНС общей вместимостью до 10 000 м³)⁷.

Опасность возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера на исследуемых территориях обусловлена расположением потенциальных источников техногенных ЧС. Зона ЧС – территория или

⁶ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74 «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»».

⁷ Свод правил СП 231.1311500.2015 «Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности», утв. Приказом МЧС России от 17.06.2015 г. № 302.

водная акватория, на которой в результате возникновения источника ЧС или распространения его последствий на другие районы возникла ЧС^{8,9}. Критериями отнесения природного процесса к категории ЧС является угроза для жизни или здоровья населения, значительный материальный ущерб для населения и/или хозяйствующих субъектов, ОС. Количественные показатели опасности основываются на данных многолетних наблюдений и могут выражаться, например, через значение повторяемости ЧС определённого вида за определённый промежуток времени. Уровень опасности для территорий того или иного вида ЧС природного характера подразделяется на несколько категорий. Например, Фалеев М. И., 2015 г., выделяет от 4 (очень высокая, высокая, средняя, низкая опасность) до 6 категорий (незначительно опасная, малоопасная, умеренно опасная, опасная, очень опасная, чрезвычайно опасная) в зависимости от повторяемости и вида ЧС [5]. Границы зон затопления и подтопления определяются исходя из повторяемости один раз в 100 лет¹⁰. Отдельно выделяются требования по зонированию территории радиоактивного загрязнения¹¹.

Зонирование вечной мерзлоты (многолетней криолитозоны) – это разделение территории на зоны, представленные разным характером распространения ММП. Основоположник зонирования вечной мерзлоты Сумгин М. И. (1937 г.) по характеру распространения разделил территорию вечной мерзлоты на три зоны: сплошную мерзлоту, мерзлоту с островами талых грунтов (прерывистая, спорадическая), островную – острова мерзлоты среди талых пород [6]. При этом внутри зон мощность ММП и температурные показатели также изменяются. Государственный фоновый мониторинг состояния многолетней мерзлоты осуществляется на базе государственной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды¹².

⁸ Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

⁹ Методические рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения, утв. МЧС России 20.08.2020 № 2-4-71-18-11.

¹⁰ Постановление Правительства РФ от 18.04.2014 № 360 «О зонах затопления, подтопления».

¹¹ СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009», утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 г. № 47.

¹² Постановление Правительства РФ от 25.06.2024 г. № 854 «Об утверждении Положения о государственном фоновом мониторинге состояния многолетней (вечной) мерзлоты».

В целях выявления наиболее уязвимых участков месторождения, подверженных опасным криогенным процессам, используется инженерно-геокриологическое районирование – составление карт, охватывающих инженерно-геокриологические условия (состав, температуру, физико-механические свойства грунтов, характер распространения ММП, гидрогеологические условия, подверженность опасным эндогенным и экзогенным процессам (в т.ч. термокарсту, термоэрозии, термоабразии, криогенному пучению, солифлюкции и др.)).

Показательным примером может служить уникальный проект Научного центра изучения Арктики «Мерзлотная карта ЯНАО». В проекте отражается текущий температурный режим мерзлоты и прогноз на 50 лет. Данные загружаются с 71 датчика, установленного по всей территории ЯНАО¹³. В рамках проекта по мониторингу состояния вечной мерзлоты и ее динамики под воздействием климатических изменений в Единой картографической системе Ямало-Ненецкого автономного округа в свободном доступе представлены результаты геокриологического картирования городов Салехард, Лабытнанги и Новый Уренгой^{14, 15}. Пример карты (фрагмент) для г. Новый Уренгой представлен на рисунке 1.

Оценка сейсмической опасности территории осуществляется с использованием сейсмического районирования. Это картирование сейсмической опасности, основанное на выявлении зон возникновения очагов землетрясений и определении сейсмического эффекта, создаваемого ими на земной поверхности¹⁶. По масштабу и уровню детализации различают: общее сейсмическое районирование (карты масштаба 1:5 000 000 – 1:2 500 000); детальное сейсмическое районирование (карты масштаба 1:500 000 – 1:100 000); сейсмомикрорайонирование (карты масштаба 1:50 000 и крупнее).

¹³ На Ямале создали динамическую мерзлотную карту региона 13 октября 2023 / ИА Красная Весна. URL: <https://rossaprimavera.ru/news/df36292d> (дата обращения: 18.12.2025).

¹⁴ Инженерно-геокриологическое районирование. URL: https://map.yanao.ru/eks/ing_geo_ray (дата обращения: 18.12.2025).

¹⁵ Мониторинг мерзлоты в ЯНАО: геокриологические карты городов стали общедоступными 18.09.2025. URL: <https://smotrim.ru/article/4693697> (дата обращения: 18.12.2025).

¹⁶ СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*, утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 N 309/пр.

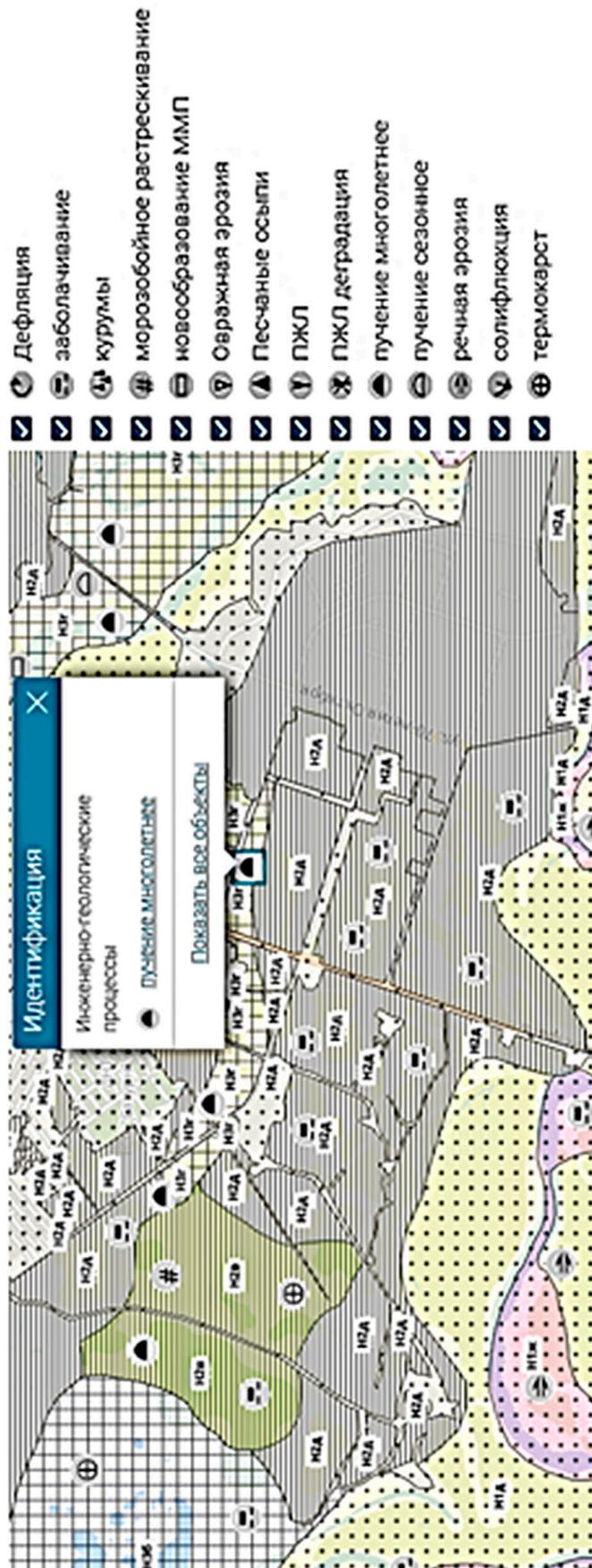


Рис. 1. Фрагмент карты инженерно-геологического районирования г. Новый Уренгой
Примечание: составлено по данным: Инженерно-геологическое районирование.

URL: https://map.yutao.ru/eks/ing_geo_gay (дата обращения: 18.12.2025);

Мониторинг мерзлоты в ЯНАО: геологические карты городов стали общедоступными 18.09.2025.

URL: <https://smotrim.ru/article/4693697> (дата обращения: 18.12.2025).

При длительной разработке месторождений углеводородов негативные геодинамические последствия проявляются в виде оседания территории, активизации деформационной активизация разломных зон, а также возникновения техногенной и техногенно индуцированной сейсмичности [7]. Для исследования потенциальных зон критических деформаций земной поверхности, которые могут оказывать разрушающее воздействие на инженерно-технические сооружения, традиционным является применение геодинамических полигонов. Выявление границ опасных зон деформации наземной поверхности осуществляется с помощью различных методов геодинамического мониторинга.

В зоне техногенного воздействия месторождений для целей проведения мониторинга, наряду с пунктами локального экологического мониторинга, организуются специально оборудованные опытные экологические полигоны. Расположение опытных полигонов должно обеспечить охват различных природно-климатических зон, что позволяет выявлять и исследовать региональные специфические особенности осуществления технологических процессов и природоохранных мероприятий исследуемых территорий¹⁷.

В России с 2021 года реализуется пилотный проект по созданию карбоновых полигонов – тестовых площадок разработки и испытания технологии измерения, мониторинга и контроля ПГ. Примером использования карбоновых полигонов, связанных с НГК, может быть карбоновый полигон «Мухрино» в Ханты-Мансийском автономном округе (разработка методики восстановления углеродного баланса нарушенных болотных экосистем в результате нефтедобычи) [8] и карбоновый полигон WayCarbon в Чеченской Республике (мониторинг потоков климатически активных газов природных и природно-техногенных экосистем, в т. ч. на рекультивированных загрязненных нефтепродуктами территориях) [9].

Уровень мониторинга геологической среды обуславливает использование соответствующих по масштабу наблюдательных полигонов (детальной, локальной, региональной или национальной наблюдательной сети). В зависимости от целей мониторинга создаются опытно-методические, изыскательские, фоновые, наблюдательные полигоны и т. п. Полигоны могут включать всю

рассматриваемую территорию или отдельную ее часть (опытные площадки, опорные участки, эталонные участки). Результаты геозекологического мониторинга служат основой дифференцированного подхода к планированию и проведению превентивных мероприятий защиты ОС и инфраструктуры месторождений от разрушения.

Таким образом, зонирование территории месторождений нефти и газа по степени геозекологической опасности (геозекологическое зонирование) – это процесс дифференцирования территории месторождений, применяемый в целях обеспечения промышленной и экологической безопасности и направленный на выявление границ районов, обусловленных различными показателями проявлений ОПТП, характерных для определенного временного периода. В качестве способа повышения эффективности выявления зон опасных геозекологических процессов на территории месторождений нефти и газа целесообразно системное исследование совместного воздействия опасных геозекологических процессов, протекающих на единой территории. Для реализации данного подхода автором предлагается объединить рассмотренные выше полигоны под общим термином – «полигоны исследования опасных геозекологических процессов» (геозекологические полигоны). В указанном аспекте территория УНГКМ в данной статье рассматривается как ключевой район полигона комплексного исследования опасных геозекологических процессов природного и техногенного происхождения. Выбор УНГКМ в качестве показательного был сделан автором по следующим причинам:

- расположение в Арктической зоне (повышенное влияние изменения климатических параметров (большая часть месторождения – за Полярным кругом), рис. 2а);
- значительные размеры (большая протяженность с севера на юг с изменяющимися природными условиями);
- эксплуатация в течении длительного периода;
- разработка одновременно 3 типов залежей (сеноманских, валанжинских и ачимовских) с различными геологическими условиями и периодами разработки (рис. 2 в, г);
- добыча одновременно нефти, газа и газового конденсата;
- расположение в зоне проявлений и активного изучения геодинамических процессов;
- расположение на территории проявлений и активного изучения ММП (рис. 2б)).

¹⁷ Руководящий документ РД 39-133-94 «Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на нефть и газ на суше», утв. Роскомнедр 28 декабря 1993 г., ГП «Роснефть» 4 января 1994 г.

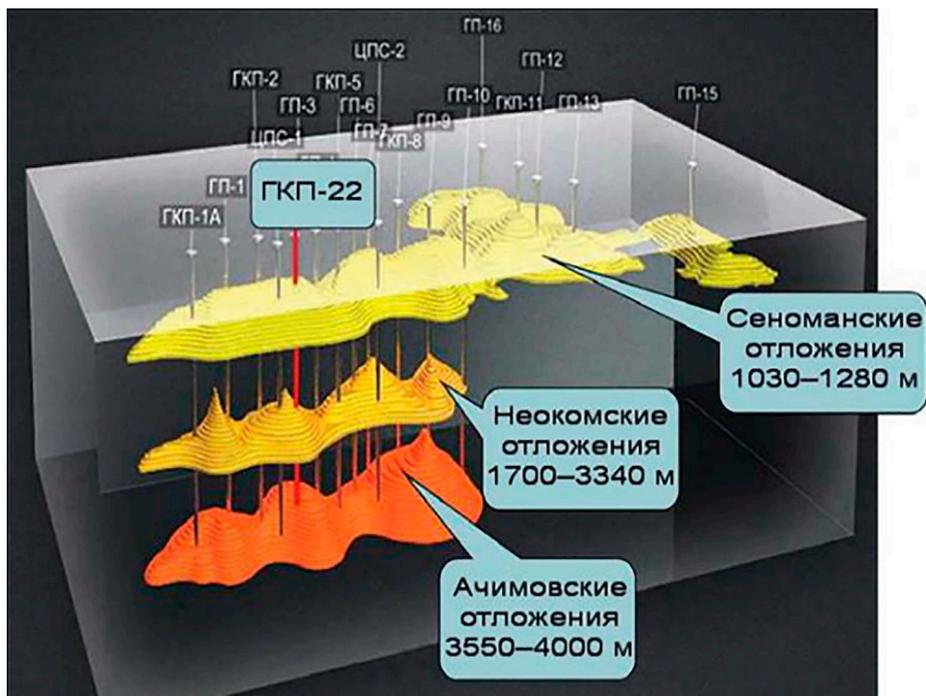


а) Расположение УНГКМ относительно Северного полярного круга [10]



б) Фрагмент карты точек наблюдения за состоянием вечной мерзлоты на территории России
Примечание: составлено по данным: Не упустить момент. Ученые призывают взять под контроль вечную мерзлоту 05.03.2022 URL: <https://ria.ru/20220305/merzlota-1775890813.html>
(дата обращения: 18.12.2025)

□ – зона исследований УНГКМ; 1 – скважины программы TSP с датчиками температуры на разных глубинах; 2 – площадки наблюдения за толщиной СТС (программа CALM); 3 – метеостанции Росгидромета, на которых осуществляют мониторинг температур грунта на глубине 3,2 метра. а – сплошная мерзлота; б – прерывистая; в – спорадическая; г – островная



в) Структурная схема нефтегазоносных залежей УНГКМ

Примечание: составлено по данным: Добыча природного газа. URL: <https://promzn.ru/gazovaya-promyshlennost/dobycha-prirodnogo-gaza.html> (дата обращения: 18.12.2025)



г) Схема зон нефтегазоносных залежей УНГКМ

Примечание: составлено по данным: Песцовая площадь Уренгойского НКМ. URL: https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/142098-pestsovaya-ploshchad-urengoyskogo-gnkm/?clear_cache=Y&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 18.12.2025)

Рис. 2 (а-г). Характеристика УНГКМ

Примечание: составлено автором с использованием [10]

УНГКМ находится на территории Пуровского и Надымского районов ЯНАО Тюменской области. ЯНАО расположен в пределах Западно-Сибирской платформы. С севера на юг протяженность составляет 220 км, при ширине от 30 до 60 км. Общая площадь составляет 6575,82 км². Большая часть находится за Полярным кругом. Суровость климата обусловлена незначительным притоком солнечной радиации, повышенной циклонической деятельностью, близостью холодного Карского моря.

Исследуемый район приурочен к Надым-Газовской синеклизе, осложненной структурами I-IV порядка. Наиболее крупная из них: стержневой Уренгойский мегавал, ограниченный крупными рифтогенными зонами. Основная доля запасов углеводородов сосредоточена вокруг крупных рифтовых систем. В геологическом строении принимают участие отложения юры, мела, палеогена и четвертичной системы, залегающие на палеозойском складчатом фундаменте.

Геологическая модель залежей включает 3 основных горизонта: сеноманские залежи (глубина залегания 1030–1280 м, начальное пластовое давление 12,1 МПа, температура 31°C); валанжинские залежи (глубина залегания 1700–3340 м, начальное пластовое давление – 17,2–66,7 МПа, температура 51–90°C); ачимовские залежи (глубина залегания 3550 – 4000 м, аномально высокое пластовое давление свыше 600 атм. и температура 105–115°C). На территории УНГКМ преобладающее распространение имеют монолитные ММП, двухслойное строение характерно для южной части площади.

Длительная добыча осуществляется на сеноманских и валанжинских залежах – 1966 и 1967 гг. разработки соответственно. Здесь повышен риск, связанный со старением оборудования, и наибольшее количество выведенных из эксплуатации объектов. Ачимовские залежи используются с 2008 г. Отличаются сложностью разработки, что является причиной повышенного технологического риска.

Зоны опасных геологических процессов выделяются автором посредством анализа результатов мониторинга УНГКМ и материалов ДЗЗ. Исследованию подверглись геодинамические, геокриологические процессы, загрязнение атмосферного воздуха, в том числе эмиссия ПГ, а также загрязнения нефтью и нефтепродуктами почвы и водоемов территории. Указан-

ный подход реализован в результате применения возможностей опытного образца цифровой платформы геологического мониторинга «АГИР-ТМ» и геопортала «Геоинфориск», разработанного на кафедре геологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина. Данная ГИС позволяет осуществить картографическое моделирование на основе идентификации источников опасных геологических процессов [11]. В состав опытного образца входят модули: Raster Map, Vector Map, 3-D Map, Photo, Object Edit, Store House, Math, обеспечивающие построение моделей территории и объектно ориентированных моделей геологического мониторинга. Геопортал предоставил возможность отображения геопространственной Базы данных в виде моделей УНГКМ на различных подложках [11]. Пространственная информация рассматривается в виде логической многослойной модели картографической системы, содержащей слои по каждому выделяемому компоненту. Слои могут накладываться один на другой. Каждый слой имеет самостоятельное значение и может быть выведен на экран отдельной аналитической картой. Дополнительные пояснения по каждой отметке содержатся в атрибутивных полях, соответствующих специфике информации.

Итоги геологического мониторинга исследуемой территории детально рассмотрены ранее в соавторстве в публикациях [12–14]. При этом результаты геодинамических исследований, полученные дистанционными методами, показали хорошую корреляцию с результатами, полученными традиционными методами мониторинга [11; 14]. Рассмотрены возможности применения дистанционных исследований эмиссии ПГ, подчеркнута необходимость дополнительного исследования вклада потенциальной эмиссии ПГ от ликвидированных скважин [11].

В материалах указанных выше исследований приведены выводы о связи уровней проседания горных пород и объемов добычи углеводородов на УНГКМ. Однако в причинах проседания территории значительную долю могут иметь изменения геокриологических параметров грунтов. Повышение температурных параметров приземного слоя атмосферы, воздействуя на температурные показатели горных пород, может вызвать изменение параметров залегания многолетних мерзлых пород (ММП).

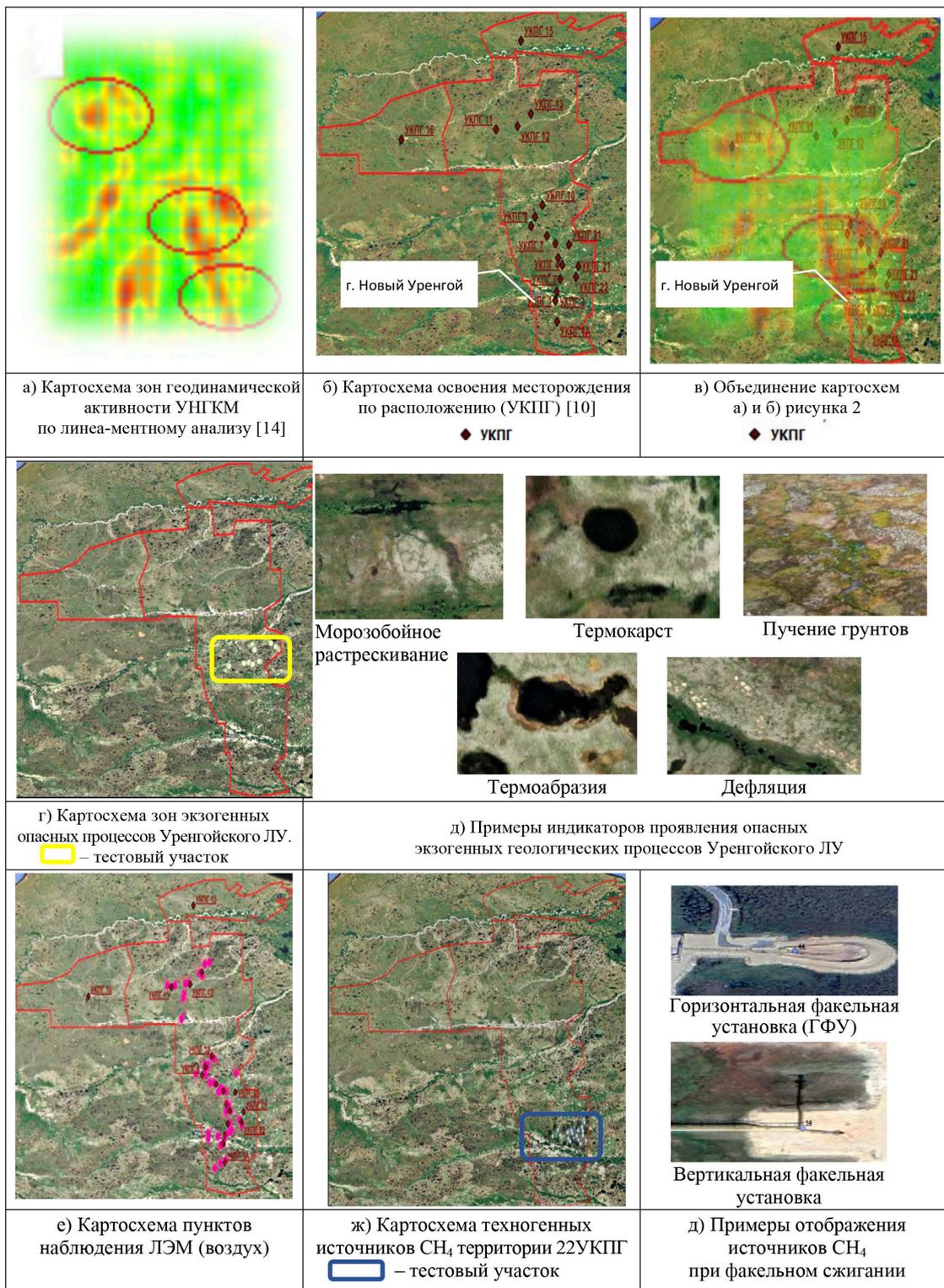


Рис. 3. Примеры зонирования опасных геоэкологических процессов УНГКМ [10; 14]

В соответствии с этим дальнейшее исследование процессов геодинамических подвижек территории предусматривает детальное изучение вклада геоэкологиче-

ских опасных процессов, в том числе изучение влияния на ММП изменения температуры приземного слоя атмосферы, вызванного эмиссией ПГ природного и техногенного

происхождения. Понимание роли концентрации ПГ в атмосфере имеет большое значение в свете предпринимаемых в мире попыток замедления потепления климата [15].

В качестве примера выделения зон опасных геологических процессов представлены зоны геодинамической активности, выделенные на основании проведенного линеamentного анализа с использованием возможностей геопортала «Геоинфориск» [14] (рис. 3 а, в).

Тестовым участком для зонирования проявления опасных экзогенных процессов выбрана территория разработки ачимовских отложений УНГКМ (рис. 3г). На данном участке по результатам полевых исследований (2021-2023 гг.) в рамках подготовки документации обустройства ачимовского участка УНГКМ выявлены опасные экзогенные геологические процессы следующих основных категорий: термокарст, термоэрозия, термоабразия, пучение грунтов, морозобойное растрескивание. На основании данной информации, дополненной материалами из открытых источников, сформирован каталог эталонных изображений для дешифрирования (примеры индикаторов приведены на рис. 3д).

Техногенная эмиссия ПГ рассмотрена на примере метана (рис. 3 е – д). Результаты прямых измерений, полученные на основании обнаружения присутствия ПГ в атмосферном воздухе, приняты по материалам локального экологического мониторинга (ЛЭМ) за 2019-2023 гг. ЛУ ООО «Газпром добыча Уренгой». Расположение пунктов наблюдения ЛЭМ представлено на рис. 3е. Отображение результатов мониторинга на каждом пункте обеспечивается при выводе атрибутивной информации конкретного пункта. Для верификации результатов проведена апробация подхода, основанного на использовании материалов искусственного спутника Земли Sentinel-5P (TROPOMI) (ЕКА), в рамках геопортала «Геоинфориск» [14]. Тестовым участком выбрана территория 22УКПГ.

Применение дешифрирования и ландшафтной индикации существенно сокращает сроки полевых исследований, позволяет сконцентрировать трудоемкие буровые и другие виды работ на типичных участках. ГИС в форме геопорталов имеют возможности консолидации результатов выделения, закрепления и визуализации всех рассмотренных выше зон, районов, участков и полигонов с необходимыми характеристиками и результатами исследований, в едином гео-

информационном пространстве. Предусмотрена возможность анализа данных путем наложения слоев, соответствующих выбранным задачам.

Данная статья призвана подчеркнуть важность одновременного учета в процессе геологического мониторинга комплекса опасных геологических процессов, происходящих на выделяемой территории, и их совместного влияния. Комплексирование в единой ГИС результатов геологического зонирования позволяет, рассматривая в приближении интересующий участок, получить обобщенные данные о состоянии ОПТП и выполнить планирование на основании моделирования и прогноза развития ситуации.

Представленный подход дает возможность осуществлять мониторинг опасных геологических, геокриологических процессов, загрязнения ОС, планировать профилактические и защитные мероприятия, оперативно реагировать на изменения и аварии, предотвращать возникновение ЧС и может быть использован на других месторождениях.

Заключение

Комплекс опасных геологических процессов, происходящих на территориях месторождений нефти и газа, обуславливает необходимость дифференцирования территории по уровню их опасности. Геологическое зонирование является важной частью процессов геологического мониторинга месторождений углеводородов. Функционал современных ГИС позволяет дифференцировать территории не только исходя из результатов оценочных исследований, но проводить прогнозное зонирование на основании моделирования развития опасных геологических процессов. Развитие работ по геологическому зонированию имеет важное значение для обеспечения промышленной и экологической безопасности объектов НГК.

В аспекте климатических изменений, в связи с непосредственным взаимным влиянием, целесообразным является включение компонентов приземного слоя атмосферы в состав компонентов геологической среды и дальнейшее изучение закономерностей влияния температуры приземного слоя атмосферы на состояние ММП в задачах геологического мониторинга. Повысить его эффективность позволит применение полигонов комплексного исследования опасных геологических процессов (геологических полигонов).

Для выделения зон опасных геоэкологических процессов необходимо применение системы, объединяющей комплексные исследования опасных природных и техногенных процессов, возможности методов ДЗЗ и функционал специализированных геоинформационных систем. Применение данного подхода позволяет увеличить эффективность геоэкологического мониторинга с учетом повышения охвата исследуемой территории, сокращения временных затрат, возможностей моделирования развития опасных геоэкологических процессов, оперативности реагирования на ЧС, что особенно важно при условии значительной территориальной разобщенности объектов мониторинга, труднодоступности отдельных районов и кратковременности полевого периода территории месторождений углеводородов Арктической зоны.

Список литературы

1. Абросимов Н. В., Акимов В. А., Ахметханов Р. С., Боговявленский В. И., Бородин В. В., Велихов Е. П., Вершинин С. А., Власов С. В., Гаденин М. М., Гинзбург А. А., Гражданкин А. И., Греков С. В., Дмитриевский А. Н., Дроздов Ю. Н., Дубинин Е. Ф., Жулина С. А., Ибрагимов И. Э., Ивченко Б. П., Илюшкин А. П., Исаев Л. К., Калашник А. И., Качанов С. А., Кононов С. А., Корниенко О. А., Кравченко В. А., Кузьмин Ю. О., Кузнецов В. П., Лаверов Н. П., Лавковский С. А., Лебедев А. В., Лещенко В. В., Лисин Ю. В., Мандель А. Я., Мансуров М. Н., Махутов Н. А., Мельников Н. Н., Мирзоев Д. А., Надин В. А., Некипелов А. Д., Никонов А. И., Осипов В. И., Петров В. П., Печеркин А. С., Пучков В. А., Радионова С. Г., Резников Д. О., Сидоров В. И., Соломатин С. В., Сосновский Л. А., Таранов А. А., Телегина Е. А., Токарев Н. П., Толстов С. С., Трусков П. А., Фалеев М. И., Федота В. И., Черноплеков А. Н., Шульц В. Л., Юдина О. Н. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. М.: МГОФ «Знание», 2013. 640 с. ISBN 978-5-87633-115-1. EDN YLXIQZ.
2. Куликова Е. Ю. Цели, задачи и структура геоэкологического мониторинга при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 7. С. 152-157. EDN RGRPCR.
3. Сергеев Е. М. Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология. 1979. № 1. С. 3-19.
4. Аковецкий В. Г., Лавренчук В. А. Геоэкологические риски реализации проектов нефтегазового комплекса в Арктической зоне // Целостность и ресурс в экстремальных условиях: сборник материалов и докладов Всероссийской конференции, приуроченной к 75-летию ЯНЦ СО РАН, Якутск, 19–23 сентября 2024 года. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. С. 17-24. DOI 10.24412/ci-37269-2024-1-17-24. EDN BCRURT.
5. Фалеев М. И., Малышев В. П., Быков А. А., Кондратьев-Фирсов В. М. Методологические подходы к зонированию территорий Российской Федерации по уровням риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2015. Т. 5, № 1(8). С. 67-90. EDN TLPTUZ.
6. Сумгин М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. 2-е изд. доп. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 432 с.
7. Кузьмин Ю. О. Парадоксы аномальных оседаний на длительно разрабатываемых месторождениях нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2025. Т. 24, № 2. С. 30–41. DOI: 10.21455/GPB2025.2-3. EDN HWZYDZ.
8. Булатов В. И., Игенбаева Н. О., Куприянова Ю. В. Западно-Сибирский болотно-таёжный центр Мухрино: от учебно-полевого стационара до карбонового полигона // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. В 2-х томах, Воронеж, 17–21 мая 2023 года / Отв. редакторы А. С. Горбунов, А. В. Хорошев, О. П. Быковская. Том 2. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. С. 190-193. DOI: 10.17308/978-5-9273-3693-7-2023-190-193. EDN KGEGBJ.
9. Керимов И. А., Эльжаев А. С., Додуев А. А. Геофизические исследования на карбоновом полигоне Чеченской Республики // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13, № 3. С. 49-62. DOI: 10.46698/VNC.2023.42.75.004. EDN AFJCUJ.
10. Обустройство Песцового месторождения. Куст газовых скважин №16А-1 Предварительная оценка воздействия на окружающую среду ЕПФ2-КГС16А1-ПОВОС. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1770627914&tld=ru&lang=ru&name=predvaritelnaya-otsenka-epf2-kg-s16a1-povos.pdf> (дата обращения: 18.12.2025).
11. Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В., Лавренчук В. А. Геоэкологические риски и промышленная безопасность нефтегазового комплекса: геоинформационные аспекты // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 5(320). С. 45-54. EDN NYXRLP. URL: <https://journal.gubkin.ru/journals/protection/2024/5-320/45-54/> (дата обращения: 18.12.2025).
12. Аковецкий В. Г., Лавренчук В. А. Особенности обеспечения экологической безопасности территории ликвидации скважин добычи нефти и газа // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: сборник трудов XVIII Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 24 апреля 2025 года. М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, 2025. С. 12-18. EDN ECQYEM.
13. Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В., Лавренчук В. А. Геоинформационный мониторинг в задачах оценки геоэкологических рисков объектов нефтегазового комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2025. № 2(323). С. 85-95. EDN SHSQBX. URL: <https://journal.gubkin.ru/journals/protection/2025/2-323/85-95/> (дата обращения: 18.12.2025).
14. Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В., Лавренчук В. А., Рамирес Суарес Х.А. Геоинформационные аспекты в задачах геоэкологического мониторинга месторождений нефти и газа // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. 2025. № 4(321). С. 63-78. EDN ITYSKL. URL: <https://journal.gubkin.ru/journals/proceedings/2025/4-321/63-78/> (дата обращения: 18.12.2025).
15. Боговявленский В. И., Боговявленский И. В., Кишанков А. В., Корниенко С.Г., Никонов Р. А., Сизов О. С. Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. № 3(42). С. 235-263. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art15. EDN WTQTYR. URL: https://oilgasjournal.ru/issue_42/bogoyavlensky.pdf (дата обращения: 18.12.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.