

УДК 504.054 : 622.24

Миронов Данил Романович, магистрант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Аннотация

Исследование посвящено анализу и развитию существующих методологических подходов оценки геоэкологических рисков и управления ими при строительстве нефтегазовых скважин. Данная тема является актуальной из-за повсеместного увеличения техногенного воздействия на компоненты геоэкологической среды, а также из-за необходимости перехода к проактивного подходу управления рисками, взамен лишь реактивному реагированию на инциденты. Целью данной работы стала систематизация уже существующих методов и разработка универсальных подходов для улучшения процессов риск-менеджмента. В рамках данной работы была проанализирована современная научная литература и нормативно-правовая база. В качестве результата исследования предложена «Интегрированная матрица геоэкологического риск-менеджмента строительства скважин» (ИМ ГЭРСС) и разработана «Модель интегральной балльной оценки геоэкологического риска строительства скважины» (МИБО ГЭРСС). Предлагаемая модель позволяет рассчитать итоговый индекс риска. Значения находятся в диапазоне от 0 до 100 баллов, что позволяет выбрать соответствующую стратегию управления. Модель является универсальной, из-за возможности добавления специфической переменной, характерной для конкретного участка работ. Практическая значимость заключается в том, что

применение предлагаемого подхода открывает новые возможности для повышения безопасности буровых работ и совершенствования проектной документации.

Annotation

The study is devoted to the analysis and development of existing methodological approaches to assessing and managing geoeological risks during the construction of oil and gas wells. This topic is relevant due to the widespread increase in man-made impacts on the components of the geoeological environment, as well as the need to move to a proactive risk management approach instead of reacting to incidents. The purpose of this work was to systematize existing methods and develop universal approaches to improve risk management processes. In the framework of this work, the modern scientific literature and the regulatory framework were analyzed. As a result of the research, the "Integrated Geoeological Risk Management Matrix for the Well Construction stage" (GERSS) was proposed and the "Integral scoring Model for the geoeological risk of well construction" (IIBO GERSS) was developed. The proposed model allows us to calculate the final risk index. The values range from 0 to 100 points, which allows you to select the appropriate management strategy. The model is universal due to the possibility of adding a specific variable specific to a particular work site. The practical significance lies in the fact that the application of the proposed approach opens up new opportunities for improving the safety of drilling operations and improving project documentation.

Ключевые слова: строительство скважин, нефтегазовый комплекс, геоэкологический риск, оценка риска, управление рисками, экологическая безопасность.

Keywords: well construction, oil and gas complex, geoeological risk, risk assessment, risk management, environmental safety.

Нефтегазовая отрасль, являясь ключевым сектором тяжелой промышленности, работает в условиях постоянной техногенной нагрузки на все компоненты природной среды. Рассматривая большое количество

потенциально опасных процессов, наиболее значимое место занимает строительство (бурение) нефтяных и газовых скважин. Во время проведения работ на данном этапе возможно неконтролируемое загрязнение подземных вод и почв буровыми растворами, изменение гидродинамического и геохимического режимов недр.

В настоящее время происходит активное смещение центров добычи в труднодоступные районы, такие как арктический шельф и Восточная Сибирь. Данные регионы характеризуются высоким уровнем биоразнообразия. Специфика климатических условий значительно осложняет не только технологические процессы бурения и эксплуатации скважин, но и проведение аварийно-восстановительных работ. Этот фактор многократно усиливают значимость превентивного выявления и минимизации геоэкологических угроз. В связи с этим, развитие существующих методологических подходов оценки геоэкологических рисков и управления ими при строительстве нефтегазовых скважин является актуальной научно-практической задачей.

Перед началом исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить понятие «геоэкологический риск», которое применимо к бурению скважин, проанализировать существующие подходы к его оценке.
2. Изучить нормативно-правовую базу, провести анализ документов, связанных с управлением рисками на нефтегазовых объектах.
3. Обобщить актуальные и современные методы выявления опасностей и оценки вероятностей аварийных событий.
4. Разработать модель методологии, которая объединяет контроль рисков с жизненным циклом скважины.
5. Разработать базовую модель оценки геоэкологического риска с чёткими критериями для выбора управленческих решений.

Исследование базируется на комплексе общенаучных методов, включающем анализ, синтез, классификацию и логическое обобщение. Был проведен анализ научных работ и нормативно-технической документации.

Методологической основой для рассмотрения подходов к оценке рисков послужили положения национального стандарта ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство».

Под геоэкологическим риском при строительстве нефтяных и газовых скважин понимают вероятностную меру наступления негативных последствий производственной деятельности, которые приводят к деградации компонентов природной среды (загрязнение почв и водоносных горизонтов, нарушение геоморфологической целостности ландшафтов) либо к техногенным авариям геологического генезиса, которые влекут за собой прямой или косвенный ущерб — как экологический, так и экономический.

Отмечается, что добывающие скважины не являются одиночными источниками техногенеза, а функционируют в составе сложной природно-технической системы [2]. Негативные последствия, как правило, имеют отложенный характер, и установить их прямую причинно-следственную связь со строительством бывает затруднительно.

Согласно отраслевым инструкциям и практикам, оценка степени риска проводится на основе нормативно-методических документов, существующих баз данных, профессиональных мнений и результатов научных исследований. Методы делятся на качественные (анализ «дерева событий», FMEA) и количественные (моделирование миграции загрязнителей, расчет вероятности аварий) [5, 8].

В отечественной практике наиболее важным в исследуемой теме является Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [10], а также ГОСТ Р ИСО 31000-2019, использование этих документов и отраслевых регламентов создает предпосылки для перехода к системному управлению рисками [4].

Современные технологии, применяемые в геоинформационном мониторинге, позволяют перейти от ручных методов к автоматизированным наблюдениям. Отмечается, что происходящие климатические процессы и

старение оборудования требуют осуществления разработки систем контроля на основе дистанционных методов [1, 2].

Анализ показал, что существующие подходы часто фрагментарны. В связи с этим предложена авторская методология – «Интегрированная матрица геоэкологического риск-менеджмента строительства скважин» (ИМ ГЭРСС). Она базируется на следующих принципах:

- принцип непрерывности;
- принцип интеграции данных;
- принцип практической направленности;
- принцип адаптивности.

Матрица синхронизирует этапы жизненного цикла скважины с шагами управления рисками по ISO 31000 (Рисунок 1).

Этап управления риском (ISO 31000)	Этап 1: Проектирование	Этап 2: Бурение и крепление	Этап 3: Освоение и испытание	Этап 4: Пост-анализ и мониторинг
Идентификация	HAZID, FTA	Анализ параметров бурения	ETA	Bow-tie анализ
Анализ и оценка	Матрицы вероятности/последствий	Количественная оценка ГНВП	Моделирование миграции флюидов	Байесовские сети
Воздействие	Выбор конструкции, планирование барьеров	Регулирование свойств раствора	Оптимизация режимов освоения	План ликвидационных работ
Мониторинг	Актуализация модели по данным изысканий	ГИС и ДЗЗ территории	Геохимический мониторинг вод	Долгосрочный мониторинг

Рисунок 1 – Интегрированная матрица геоэкологического риск-менеджмента строительства скважин (ИМ ГЭРСС)

Предложенная матрица определяет последовательность действий, но для практической реализации необходим количественный измеритель. Для того, чтобы решить эту задачу, была разработана «Модель интегральной балльной оценки геоэкологического риска строительства скважины» (МИБО ГЭРСС). Предлагаемая модель позволяет на основе набора исходных данных рассчитать

итоговый индекс риска R в диапазоне 0–100 баллов и однозначно интерпретировать полученный результат. Изменение или удаление содержащихся в модели групп, факторов риска и критериев не предусмотрено, но сохранена возможность добавления специфической переменной, характерной для конкретного участка работ, что позволяет предложенной методике быть достаточно универсальной. Решение о добавлении такой переменной должно быть принято большинством голосов членов экспертной группы, сформированной для оценки рисков по конкретному объекту. Стоит учесть, что такой дополнительный фактор риска должен быть сформулирован в терминах, допускающих однозначную интерпретацию, а шкала его оценки должна строго соответствовать принятому в модели диапазону от 0 до 20 баллов. Такой подход, с одной стороны, гарантирует методическую строгость и воспроизводимость базовой версии модели, а с другой – придает ей необходимую адаптивность для учета локальной специфики, не предусмотренной универсальным перечнем факторов. При добавлении дополнительного фактора рекомендуется использовать линейную прогрессию с шагом, кратным значимости перехода между категориями (например, $0 \rightarrow 10 \rightarrow 20$ или $2 \rightarrow 8 \rightarrow 14 \rightarrow 20$), стоит учитывать, что даже при «идеальных» условиях сохраняется остаточный риск, поэтому минимальный балл часто равен 2 или 3, а не 0.

Факторы риска были сгруппированы в три блока: геолого-технологические, техногенные и природные. Каждому фактору присваивается балл от 0 до 20 на основе критериев (Рисунок 2).

Группа	Фактор риска	Критерий и его точное описание	Балл
Геологические факторы	Сложность геологического разреза	Отложения представлены моноклинально залегающими устойчивыми породами, тектонических нарушений нет	2
		Разрез характеризуется частым переслаиванием пород разной литологии, присутствуют зоны трещиноватости	8
		В разрезе имеются дизъюнктивные нарушения (разломы), соляные купола или многолетнемёрзлые породы с высокой льдистостью	15
		Комбинация двух и более осложняющих факторов (например, разломы + ММП)	20
	Пластовое давление (градиент)	Нормальное: градиент пластового давления < 0,013 МПа/м	3
		Повышенное: градиент АВПД от 0,013 до 0,017 МПа/м	9
		Аномально высокое: градиент АВПД > 0,017 МПа/м	16
		Аномально низкое: градиент АНПД < 0,008 МПа/м	20
	Наличие агрессивных флюидов (H ₂ S, CO ₂)	Отсутствуют (содержание H ₂ S < 0,01% об., CO ₂ < 1% об.)	0
		Присутствуют в концентрациях: H ₂ S 0,01–6% об. или CO ₂ 1–6% об. Высокое содержание: H ₂ S > 6% об. или парциальное давление H ₂ S > 0,1 МПа	10 20
	Наличие зон поглощений бурового раствора	По опыту бурения на соседних площадях поглощения не зафиксированы	0
		Известны единичные случаи поглощений интенсивностью до 10 м³/ч Систематические поглощения интенсивностью > 10 м³/ч или катастрофические поглощения	7 20
	Проектная глубина скважины (по вертикали)	До 1500 м	2
		1500–3000 м	6
		3000–4500 м	12
		Свыше 4500 м	20
Риск пересечения стволов	Новая площадь, в радиусе 100 м нет других скважин или коммуникаций	0	
	Месторождение с умеренной сеткой: в радиусе 50–100 м находятся 1-2 скважины	8	
	Зона старого фонда или кустовое бурение: в радиусе < 50 м находятся 3 и более скважин	18	
	Заведомо известные ликвидированные/аварийные стволы без точных координат в зоне работ	20	
Технологические факторы	Конструкция скважины (надёжность)	Усиленная: предусмотрена дополнительная промежуточная колонна	2
		Типовая: направление, кондуктор, одна промежуточная, эксплуатационная колонна	8
		Упрощённая: отсутствие промежуточной колонны при наличии осложнений в разрезе	20
	Тип бурового раствора	Раствор на водной основе с использованием биоразлагаемых реагентов	3
		Раствор на водной основе с добавлением минеральных солей (NaCl, KCl) или полимеров	8
		Раствор на углеводородной основе (РУО) с низким содержанием ароматических углеводородов	14
		Высокотоксичный РУО или раствор на основе высокоминерализованных рассолов	20
	Система обращения с буровыми отходами	Безамбарное бурение с полной утилизацией шлама и раствора на специализированном полигоне	0
		Бурение с использованием обустроенных амбаров, имеющих двухслойную гидроизоляцию и систему сбора фильтрата	8
		Использование необустроенных земляных амбаров без надёжной гидроизоляции	20
	Способ цементирования и качество крепи	Проектом предусмотрен подъём цемента до устья за всеми колоннами с контролем качества (АКЦ)	2
		Подъём цемента до устья только за кондуктором и эксплуатационной колонной, контроль АКЦ плановый	10
		Частичное цементирование или отсутствие контроля качества цементирования в интервалах залегания пресных вод	20
		Оснащённость системами раннего обнаружения ГНВП	Установлены современные датчики контроля объёма в ёмкостях, плотности, газового каротажа
	с передачей данных в режиме реального времени		
	Стандартный комплект КИП по проекту без интеграции в единую систему мониторинга		10
Природные и антропогенные факторы	Чувствительность ландшафта и почв	Оборудование устаревшее или отсутствует часть обязательных датчиков	20
		Территория промышленной зоны, земли нарушенные, не требующие рекультивации	2
		Лесные массивы, луга, сельхозугодья, не относящиеся к ООПТ	8
		Тундровые, лесотундровые ландшафты, многолетнемёрзлые грунты, водоохранные зоны	16
	Близость к поверхностным водным объектам	Территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов	20
		Расстояние до ближайшего водотока или водоёма > 500 м	2
		Расстояние 100–500 м	10
		Расстояние < 100 м или расположение в границах водоохранной зоны	20
	Близость к особо охраняемым природным территориям (ООПТ)	Расстояние до границы ООПТ > 5 км	0
		Расстояние до границы ООПТ 1–5 км	8
		Расстояние < 1 км или ООПТ находится в зоне возможного влияния аварии	20
	Наличие в зоне влияния источников питьевого водоснабжения	Ближайший водозабор или скважина питьевого назначения удалены > 2 км	0
		Расстояние до водозабора 0,5–2 км	12
		Расстояние < 0,5 км или в пределах зоны санитарной охраны водозабора	20
	Плотность существующей инфраструктуры в районе работ	Единичные скважины, низкая плотность коммуникаций	2
		Кустовое расположение скважин, развитая сеть трубопроводов и ЛЭП	10
Высокая концентрация опасных производственных объектов в пределах одного лицензионного участка		20	

Рисунок 2 – «Модель интегральной балльной оценки геоэкологического риска строительства скважины» (МИБО ГЭРСС)

Следует отметить, что балльные оценки, которые были приведены в таблице 2, не всегда подчиняются строгой линейной прогрессии с постоянным шагом. Это не обусловлено ошибкой или математической погрешностью, а осознанным применением квалиметрического подхода. Числовые значения отражают экспертную оценку значимости качественного перехода между смежными категориями риска. Каждое пороговое значение балла было установлено на основе анализа нормативных требований, отраслевых регламентов и практического опыта строительства скважин. Данная интерпретация позволила более точно дифференцировать уровни опасности в тех случаях, когда арифметически равные интервалы не соответствовали бы реальной тяжести возможных последствий.

Во время разработки предлагаемой модели был рассмотрен вопрос о введении весовых коэффициентов для учёта различной значимости факторов. Однако, после моделирования процесса оценки риска, каждый фактор был разбит на ряд конкретных состояний, каждому из которых присвоен фиксированный балл (от 0 до 20). Данное решение стало единственно верным, из-за того, что модели с весовыми коэффициентами могут быть субъективными. Если эксперт совершит ошибку в значимости фактора, вся модель будет давать ложный результат. В целях устранения субъективности, присущей интервальным оценкам, каждый фактор риска был разбит на ряд конкретных состояний, каждому из которых присвоен фиксированный балл (от 0 до 20). Перечень факторов в базовой модели включает 16 позиций и охватывает геологические, технологические, природоохранные и организационные аспекты строительства скважины.

Интегральный показатель риска R вычисляется как нормированная сумма баллов по всем N оцениваемым факторам:

$$R = \frac{\sum_{k=1}^N P_k}{N \times 20} \times 100, \quad (1.1)$$

где: - R – интегральный показатель геоэкологического риска, безразмерная величина, выражаемая в баллах (от 0 до 100);

- P_k – балльная оценка k -го фактора, определённая по таблице 2, безразмерная величина (целое число от 0 до 20);
- N – общее количество оцениваемых факторов, безразмерная величина (в стандартной методике $N = 16$);
- 20 – максимально возможный балл по одному фактору, безразмерная константа;
- 100 – масштабирующий множитель для приведения результата к 100-балльной шкале.

Все величины в формуле являются безразмерными. Это позволяет использовать её для объектов с различными физическими характеристиками без необходимости согласования единиц измерения. Для базового набора из 16 факторов ($N = 16$) знаменатель дроби составляет $16 \times 20 = 320$.

Таким образом, формула приобретает особенно простой вид, который является удобным для оперативных расчётов:

$$R = \frac{\text{сумма баллов по } N(16 \text{ для станд. модели) факторам}}{N \times 20} \times 100$$

Полученное значение сопоставляется со шкалой, приведённой на рисунке 2. Для каждого уровня риска предложен набор организационно-технических мероприятий.

Уровень риска	Баллы	Характеристика	Рекомендуемые действия
Низкий (Приемлемый)	0–20	Вероятность нештатных ситуаций минимальна, последствия локальны.	1. Соблюдение стандартных технологических регламентов. 2. Плановый экологический мониторинг. 3. Ведение документации в штатном режиме.
Средний (Повышенный)	21–50	Существует заметная вероятность инцидентов, способных привести к умеренному загрязнению.	1. Разработка и внедрение дополнительных организационно-технических мероприятий. 2. Усиление контроля свойств бурового раствора. 3. Увеличение частоты отбора проб и ГИС-мониторинга. 4. Проверка целостности оборудования и квалификации персонала.
Высокий	51–75	Высокая вероятность аварий с серьезными последствиями для геосреды.	1. Обязательная разработка Плана ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН) с учетом специфики рисков. 2. Применение систем раннего обнаружения ГНВП. 3. Использование буровых растворов с повышенными ингибирующими свойствами. 4. Введение усиленного режима мониторинга (в т.ч. в реальном времени). 5. Дополнительное обучение персонала действиям в нештатных ситуациях.
Критический	76–100	Чрезвычайно высокая вероятность крупной аварии с необратимыми экологическими последствиями.	1. Пересмотр проектных решений вплоть до изменения конструкции скважины или траектории ствола. 2. Рассмотрение вопроса о переносе точки заложения скважины. 3. В исключительных случаях — обоснование отказа от бурения в данных условиях. 4. Принятие решения на уровне высшего руководства компании-недропользователя.

Рисунок 3 – Шкала оценки риска и матрица управленческих решений

Проведенный анализ показывает, что методология оценки и управления геоэкологическими рисками при строительстве нефтегазовых скважин находится в стадии активного развития. Ключевыми тенденциями являются интеграция методов ДЗЗ и ГИС, применение экспертных систем и внедрение риск-ориентированного подхода на основе ISO 31000.

«Интегрированная матрица геоэкологического риск-менеджмента» (ИМ ГЭРСС) и «Модель интегральной балльной оценки» (МИБО ГЭРСС),

рассматриваемые в данной работе, позволяют сформировать замкнутый управленческий цикл, который начинается от идентификации опасностей, и заканчивается количественной оценкой и выбором конкретной стратегии реагирования. Из-за использования понятной бальной системы, модель является прозрачной, легко воспроизводимой и пригодной для оперативного применения на любом этапе. Практическое применение моделей, разработанных в рамках данной работы, позволяет способствовать повышению общей экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Балаба В.И. Методологические основы обеспечения экологической безопасности строительства скважин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2024. – № 1 (316). – С. 7–12.
4. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Введ. 2020-03-01. – М.: Стандартиформ, 2020. – 16 с.
5. Кузьмин Д.Е. Методы оценки и управления рисками в нефтегазовом комплексе // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2023. – № 5-2 (99). – С. 94–98.
6. Кустышева И.Н. Выявление негативных факторов воздействия на земельные ресурсы при строительстве нефтегазовых скважин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2022. – № 4 (307). – С. 37–44.

7. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 399 с.
8. Рыбалов Э.А., Фомина Ек.Е., Фомина Ел.Е. Применение методов экспертных оценок при анализе опасности нефтяных и газовых скважин в состоянии консервации или ликвидации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2022. – № 2 (305). – С. 49–55.
9. Труханкин В.В. Методика и технология оценки состояния экологически опасных скважин на нефть и газ в информационно-аналитической системе (ИАС РИР) // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 31–39.
10. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 25.12.2023) // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 2. – Ст. 133.

Literature

1. Akovetsky V.G., Afanasyev A.V., Lavrenchuk V.A. Geoinformation monitoring in the tasks of assessing geoeological risks of oil and gas facilities // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. – 2025. – No. 2 (323). – P. 85–95.
2. Akovetsky V.G., Afanasyev A.V., Lavrenchuk V.A. Geoeological risks and industrial safety of the oil and gas complex: geoinformation aspects // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. – 2024. – No. 5 (320). – P. 45–54.
3. Balaba V.I. Methodological foundations for ensuring environmental safety of well construction // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. – 2024. – No. 1 (316). – P. 7–12.
4. GOST R ISO 31000-2019. National Standard of the Russian Federation. Risk management. Principles and guidelines. – Moscow: Standartinform, 2020. – 16 p.

5. Kuzmin D.E. Methods of risk assessment and management in the oil and gas complex // Economy and Business: Theory and Practice. – 2023. – No. 5-2 (99). – P. 94–98.
6. Kustysheva I.N. Identification of negative factors of impact on land resources during the construction of oil and gas wells // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. – 2022. – No. 4 (307). – P. 37–44.
7. Pikovsky Yu.I., Ismailov N.M., Dorokhova M.F. Fundamentals of oil and gas geoecology: textbook. – Moscow: INFRA-M, 2015. – 399 p.
8. Rybalov E.A., Fomina Ek.E., Fomina El.E. Application of expert assessment methods in analyzing the hazard of oil and gas wells in a state of conservation or abandonment // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. – 2022. – No. 2 (305). – P. 49–55.
9. Trukhankin V.V. Methodology and technology for assessing the condition of environmentally hazardous oil and gas wells in the information-analytical system (IAS RIR) // Geoinformatics. – 2014. – No. 1. – P. 31–39.
10. Federal Law No. 7-FZ of January 10, 2002 "On Environmental Protection" (as amended on December 25, 2023) // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2002. – No. 2. – Art. 133.