

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИКИ СРЕДОФОРМИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О.В. Богданова¹, Е.Г. Черных¹, К.Р. Меркурьева¹, А.П. Сизов²,
В.В. Симонян², И.Н. Смирнов²

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия, e-mail: chernyheg@tyuiu.ru

² Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация: Исследование средоформирующего потенциала территории, включая земельные ресурсы, лесные экосистемы, почвенные разности, недра, является важным элементом анализа условий территории при добыче углеводородов в нефтегазовых регионах. В результате добычи углеводородного сырья средоформирующий потенциал территории, содержащий в себе группу природно-климатических, физико-географических, эколого-экономических факторов, снижается по мере интенсивного техногенного воздействия. Поэтому группа исследователей выявила актуальную научно-техническую задачу, решение которой с помощью разработанного комплекса методов позволяет отслеживать динамику изменений средоформирующего потенциала нефтегазовых регионов на основе данных дистанционного зондирования Земли. Научная новизна данной работы заключается в методологическом обосновании анализа трансформации средоформирующего потенциала с целью выявления и предотвращения ряда негативных процессов, усугубляемых антропогенным воздействием, как это было установлено с помощью дистанционного зондирования в ходе инженерно-экологических изысканий и мониторинга земель. Объектом исследования является совокупность негативных процессов на землях, используемых для лесного хозяйства, сельского хозяйства, промышленности, энергетики, транспорта, связи, телерадиовещания, телевидения, информационных технологий, космической деятельности, обороны, безопасности и других специальных целей. Эти процессы влияют на величину средоформирующего потенциала нефтегазовых территорий, особенно в условиях техногенного воздействия.

Ключевые слова: интерпретация, дистанционное зондирование, землепользование, космические изображения, ландшафт, нефтегазовые территории, инженерно-экологические исследования, мониторинг земель, углеводородное сырье, средоформирующий потенциал.

Благодарность: Исследование выполнено в рамках договора с Национальным исследовательским университетом «Московский государственный строительный университет» № ТИУ/К-26 от 14 мая 2026 года на выполнение научно-исследовательской работы.

Для цитирования: Богданова О. В., Черных Е. Г., Меркурьева К. Р., Сизов А. П., Симонян В. В., Смирнов И. Н. Методологическое обоснование динамики средоформирующего потенциала нефтегазовых территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 10-1. – С. 63-76. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_101_0_63.

Methodological substantiation of the dynamics of the environment-forming potential of oil and gas-bearing territories

O.V. Bogdanova¹, E.G. Chernykh¹, K.R. Merkurieva¹, A.P. Sizov², V.V. Simonyan², I.N. Smirnov²

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, e-mail: chernyheg@tyuiu.ru

² Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract: Forest ecosystems, soil variations, and subsoil are important elements in analyzing the conditions of a territory during hydrocarbon production in oil and gas regions. Because of hydrocarbon extraction, the environment-forming potential of a territory, which includes a range of natural, climatic, physical, geographical, and ecological-economic factors, decreases due to intensive anthropogenic impact. Therefore, a group of researchers identified a pressing scientific and technical challenge. The solution to this challenge, using a developed set of methods, allows for tracking the dynamics of changes in the environment-forming potential of oil and gas regions based on Earth remote sensing data. The scientific novelty of this work lies in the methodological justification for analyzing the transformation of environment-forming potential with the aim of identifying and preventing a number of negative processes exacerbated by anthropogenic impact, as established using remote sensing during engineering and environmental surveys and land monitoring. The object of this study is the totality of negative processes on lands used for forestry, agriculture, industry, energy, transportation, communications, broadcasting, television, information technology, space activities, defense, security, and other special purposes. These processes influence the environmental potential of oil and gas-bearing territories, especially under anthropogenic impacts.

Key words: interpretation, remote sensing, land use, space images, landscape, oil and gas areas, engineering and environmental research, land monitoring, hydrocarbon raw materials, environment-forming potential.

Acknowledgements: The research was carried out under the agreement with the «Moscow State University of Civil Engineering» No. TIU/K-26 dated May 14, 2026 for the performance of scientific research work.

For citation: Bogdanova O. V., Chernykh E. G., Merkurieva K. R., Sizov A. P., Simonyan V. V., Smirnov I. N. Methodological substantiation of the dynamics of the environment-forming potential of oil and gas-bearing territories. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(10-1):63-76. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_101_0_63.

Введение

Добыча углеводородного сырья оказывает негативное воздействие на компоненты окружающей среды. Вследствие этого необходимо разрабатывать новые подходы к сохранению экологически устойчивого землепользования [1] с учетом природно-климатических условий регионов. В основу должен быть положен принцип рационального землепользования и сохранения природных

свойств почв. Опыт эксплуатации земельных угодий свидетельствует о том, что на территориях, подверженных деструктивным явлениям — включая дефляцию, эрозию почв, наводнения, подтопление, засоление, а также физико-химическое загрязнение, — применение классических подходов не дает должного результата. Данная научно-техническая проблема открывает ряд направлений, связанных с внедрением новых методических

подходов в сфере рационального природопользования на промышленно осваиваемых территориях.

Важность представленной научной работы продиктована тем, что современное состояние окружающей среды выступает одним из приоритетных вызовов для человечества. Нарастание разработки нефтегазовых месторождений увеличивает риск изменения состояния физико-химического состава почвенного и растительного покрова, грунтовых вод и границ обитания редких видов животных и птиц. Подобные процессы оказывают негативное влияние на естественное протекание биосферных циклов и возможности восстановления природных сообществ. Таким образом, экологический мониторинг количественного и качественного состояния почвенного покрова (земель) является стратегически важной научной задачей. Решение данного вопроса подразумевает совершенствование подходов и внедрение инновационных разработок в сфере управления земельными ресурсами.

Разработка объектов нефтедобычи и их дальнейшая эксплуатация неизбежно сопряжены с антропогенным воздействием на компоненты окружающей среды [2]. При проведении экологического аудита критическое значение имеет анализ форм собственности земельных участков, масштабов изымаемых территорий, трансформации природных ландшафтов, площади очагов загрязнения, а также рисков активизации геологических процессов. Грунты выступают фундаментальным элементом природных изысканий, так как они служат ключевым резервуаром и транзитной зоной в био-геохимических циклах. Миграция подвижных форм тяжелых металлов и других токсикантов в почве носит регрессивно-аккумулятивный характер: максимальная концентрация металлов находится в гумусовом горизонте с последующим

снижением содержания в минеральных слоях. Данная динамика распределения детерминирована текстурой субстрата, показателями кислотности, процентом содержания органического вещества и рядом иных параметров.

Химическая деградация земель, вызванная разливами углеводородов и накоплением буровых отходов в шламовых амбарах, зачастую является следствием аварийных ситуаций и нарушения инженерных норм — отсутствия должных обвалований и некачественной гидроизоляции шламовых амбаров. Токсичность буровых растворов определяется присутствием поверхностно-активных соединений, нефтяных фракций, полимеров, водорастворимых солей и прочих химических реагентов. Наибольшую опасность представляет именно нефтяное загрязнение, интенсивность которого варьируется в зависимости от глубины инфильтрации сырья и физико-химических свойств самой почвы.

Авторы предложили новую концепцию — средоформирующий потенциал территории, который позиционируется как общий интегральный показатель всех совокупных экологических показателей нефтегазоносной территории. В данной работе экологический фактор территории рассматривается как сумма всех природных ресурсов, факторов и условий, обладающих средоформирующими и природоохранными свойствами. Преимущественно в данном исследовании были рассмотрены следующие группы факторов: климатические, почвенные, антропогенные.

Методы

Научно-техническая основа управления экосистемой нефтегазоносной территории нуждается в постоянной актуализации, совершенствовании и дополнении. Методологическая база мониторинга количественного и качественного со-

стояния земель включает в себя ряд информационно-логических, аналитических, методов компьютерного моделирования, искусственного интеллекта и машинного обучения [3–5]. Основной научной задачей российских и зарубежных ученых является формирование ряда постулатов, направленных на обеспечение рационального землепользования в границах урбанизированной территории нефтегазоносных промышленных объектов [6–12].

Средоформирующий потенциал (СФП) нефтегазоносной территории определяется как средний взвешенный показатель, рассчитанный на основе площадей различных земельных угодий. Под этим понятием подразумевается совокупность всех природных ресурсов, факторов и условий, присущих конкретной территории.

Данные характеристики принято классифицировать на три основные группы: средообразующие (СОС), средовоспроизводящие (СВС) и средозащитные (СЗС) свойства. В их число входят физико-географические, почвенно-климатические, земельные, геологические, гидрологические и экономические факторы, включающие в себя воздействие антропогенной нагрузки [12]. Формула расчета средоформирующего потенциала нефтегазоносной территории в общем виде сумм компонентов представлена в формуле

$$СФП = \Sigma(СОС, СВС, СЗС). \quad (1)$$

Вышеуказанные компоненты СФП включают в себя объемы нарастания кислорода и минимизацию воздействия диоксида углерода на единицу исследуемой площади, а также прямую взаимосвязь между данными процессами. На основании этого представляется возможным структурировать теоретический базис проводимого анализа, который отражен в следующей формуле:

$$O_2 \uparrow / \downarrow CO_2 = f(СФП). \quad (2)$$

Основные характеристики земельных участков должны учитывать физико-географическое положение, разновидность антропогенной нагрузки, климатические показатели и свойства почвенных разностей. При этом подобные фундаментальные критерии должны обладать международным признанием и иметь четкое закрепление в нормативно-правовых актах.

Научная гипотеза, установленная авторами данного исследования, формулируется следующим образом: «баланс контуров земельный угодий различного народнохозяйственного назначения внутри контуров угодий лицензионного участка образуют совокупную многофакторную производительность средоформирующего потенциала данной территориальной единицы». Следовательно, итоговый показатель СФП является результатом сложения индивидуальных значений производительности всех типов угодий, расположенных в границах анализируемой территории:

$$P^{сфп} = \sum_{i=1}^n (P_i^{сфп}), \quad (3)$$

где $СФП$ — потенциал территории лицензионного участка; $P^{сфп}$ — средоформирующий потенциал земель i -го типа на территории лицензионного участка; n — количество типов земель на территории лицензируемой зоны.

Исходные показатели удельных коэффициентов интенсивности СФП для различных видов земельных ресурсов определяются климатическими и ландшафтными условиями местности, а также природоохранной ценностью конкретных участков. Эти первоначальные величины подлежат унификации и закреплению в законодательных актах. Анализ научно-технической литературы дает отсылку на использование нормативных показателей, указанных в методике оп-

ределения ущерба почвенным разностям [Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 08 июля 2010 г. (с изм. на 18 ноября 2021 г.)].

Данные нормативы указывают на взаимосвязь влияния антропогенной нагрузки на почву и экономическое обострение вреда, нанесенного данной территориальной единице [13, 14]. Стандартные значения дифференцируются в зависимости от административно-территориального деления, в частности, его принадлежности к определенной лесохозяйственной зоне. Для более точной внутрирегиональной классификации используются корректирующие множители, учитывающие особенности каждого отдельного земельного надела. Следовательно, расчет величины СФП для каждого типа земель осуществляется путем применения формулы прямо пропорциональной зависимости:

$$P_i^{сф} = P_{уд} \times K_i \times S_i, \quad (4)$$

где $P_{уд}$ — средний удельный средоформирующий потенциал территории лицензионного участка, баллы/м²; K_i — поправочный коэффициент для относительной стоимости земель; S_i — площадь земельного участка i -го типа на территории лицензионного участка, м² (на основе соотношения $\sum S_i = S_{ЛУ}$, где $S_{ЛУ}$ — это площадь территории, охватываемой лицензией).

Совместное использование формул (3) и (4) позволяет вывести формулу (5) в результате определения значения СФП исследуемой территории:

$$P^{сф} = P_{уд} \times \sum_{i=1}^n (K_i \times S_i). \quad (5)$$

Далее был проведен информационно-логический анализ представленных ал-

горитмов, выявивший их математический и физический смысл. В результате был предложен специально разработанный интегрирующий индикатор, называемый индикатором оптимальности структуры земельного участка $K_{опт}$. Он рассчитывается по формуле и выражается в процентах:

$$K_{опт} = P_{исч_срф} \times 100\% / P_{уср_срф}, \quad (6)$$

где $P_{исч_срф}$ — значение расчетного удельного показателя площади земельного участка территории лицензионного участка, рассчитанное на основе состояния земель на конкретную дату, баллов/м². $P_{уср_срф}$ — величина усредненного удельного СФП территории лицензионного участка, определяемая нормативным методом, баллов/м².

В рамках исследования определяли оценку уровня химического загрязнения почв в соответствии с СП 502.1325800.2021 [15]. Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (7)$$

где n — число определяемых суммируемых веществ с $K_{ci} > 1$; K_{ci} — коэффициент концентрации i -го химического элемента, равный кратности превышения его содержания над фоновым значением; K_{cn} — коэффициент концентрации n -го химического элемента.

Результаты и обсуждение

Основные проблемы, возникающие в результате нарушения почвенного покрова и загрязнения в нефтедобывающей промышленности, включают механическое повреждение почвы и загрязнение токсичными веществами [16, 17]. Также важно подчеркнуть, что добыча нефти и газа часто связана с проникновением углеводородов в поверхностный, подпоч-

Таблица 1

Шкала оценки для ранжирования субъектов Российской Федерации по значению показателя оптимальности земельной структуры $K_{\text{опт}}$
Assessment scale for ranking the constituent entities of the Russian Federation by the value of the land structure optimality indicator " $K_{\text{опт}}$ "

Идентификатор	Диапазон значений $K_{\text{опт}}$, %	Качественные характеристики структуры земельного участка
1	>160,0	чрезмерно экологизированный
2	141,0 – 160,0	оптимальный
3	121,0 – 140,0	экологически чистый
4	100,0 – 120,0	экологически удовлетворительно
5	<100,0	экологически неудовлетворительно

венный и подстилающие слои почвы, что негативно сказывается на ее продуктивности и возможности дальнейшего вовлечения в хозяйственный оборот.

Длительная эксплуатация нефтяных месторождений приводит к разрушению горизонта почвы и полной потери ее плодородия. Разливы продуктов нефти существенно влияют на химический состав почв и снижает уровень роста растительности, дестабилизируют всю экосистему в целом [18].

Рассмотрим физическую и математическую природу и диапазон значений показателя $K_{\text{опт}}$. Его математический смысл заключается в степени, в которой фактически рассчитанная удельная совокупная факторная производительность рассматриваемой территории, которая приближается к максимально возможному удельному относительно среднего удельного средоформирующего потенциал территории. Физический смысл показателя $K_{\text{опт}}$ заключается в степени полной реализации потенциальной биопродуктивности земель в пределах конкретной территории.

Важно отметить, что рассчитанное удельное значение СФП для территории соответствует среднему удельному значению СФП при условии равной площади каждого типа земель ($K_{\text{опт}} = 100\%$). Гипотетически максимальное значение

$K_{\text{опт}}$ составляет 190% (вся территория состоит исключительно из лесных массивов), а минимальное — 30% (вся территория состоит исключительно из нарушенных земель). Естественно, такая ситуация недостижима на уровне муниципалитета, не говоря уже об административно-территориальной единице Российской Федерации.

Значение показателя $K_{\text{опт}}$ превышает 100%, когда вклад земельных участков, положительно влияющих на формирование расчетной удельной совокупной факторной производительности (СФП), превышает вклад земельных участков, отрицательно влияющих на формирование расчетного удельного СФП. Шкала оценок для ранжирования субъектов Российской Федерации по значению показателя оптимальности земельной структуры $K_{\text{опт}}$ представлена в табл. 1.

Для исследования была выбрана территория Экутальского месторождения, находящаяся в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре, в Кондинском районе, на землях Урайского и Верхне-Кондинского районного лесничества. Ближайшим к участку административным центром является село Шаим, расположенное в 14 км к юго-востоку от исследуемой территории. Крупнейшим близлежащим населенным пунктом является районный город Урай, располо-



Рис. 1. Местоположение Экутальского месторождения

Fig. 1. Location of the Ekutalskoye deposit

женный в 60 км к юго-востоку от исследуемой территории. Местоположение Экутальского месторождения показано на рис. 1.

Для исследуемой территории характерны обширные котлованы с многочисленными болотами и болотистыми озерами, равнинный рельеф и слабое врезание речных долин, что определяет специфический водный режим рек в этом регионе. Лесной покров составляет приблизительно 30% территории (до 90% в некоторых небольших речных бассейнах), в то время как болота за-

нимают более 70% обследованной территории. Однако обширные болотистые территории и слабое врезание речных долин затрудняют развитие транспортной и хозяйственной инфраструктуры, а также усложняют проведение инженерных работ, в том числе связанных с добычей углеводородов.

В то же время высокая влажность и специфический гидрологический режим требуют особого внимания при планировании мероприятий по охране окружающей среды и рекультивации нарушенных земель.

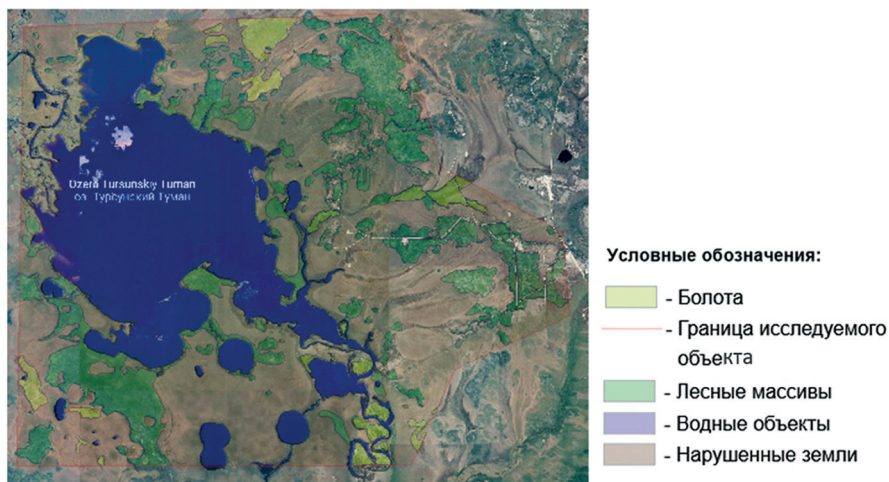


Рис. 2. Фрагмент расшифрованного изображения земель

Fig. 2. A fragment of the deciphered image of the lands

Таблица 2

Площадь дифференцированных земель
Area of differentiated lands

№ п/п	Название земли	Площадь, кв. км
1	Болота	13,19
2	Лесные массивы	61,97
3	Водоемы	105,4
4	Нарушенные земли	185,9

На рис. 2 представлен фрагмент изображения, определяющий границы исследуемой территории по типу землепользования. В пределах границ исследуемой территории были выделены болота, водоемы, леса и нарушенные территории. При определении границ исследуемой территории путем оцифровки этих земель были рассчитаны площади каждой из них (табл. 2).

Для расчета значения СФП территории мы используем формулу (5), применяя соответствующие значения среднего удельного средоформирующего потенциала территории (табл. 3), и поправочные коэффициенты для относительной стоимости земель (табл. 4). Перечень лесозон и лесных регионов Российской Федерации утвержден приказом Министерства природных ресурсов России от 18 августа 2014 г. № 367.

Согласно формуле (5), значение СФП территории муниципалитета 671,72 балл/м².

$$P_{\text{исч_сфп}} = 500 \times \left(\frac{13190000}{366460000} + 1,5 \times \frac{61970000}{366460000} + 1 \times \frac{185900000}{366460000} + 1,8 \times \frac{105400000}{366460000} \right) = 671,72 \text{ балл/м}^2$$

Таблица 3

Средние удельные показатели средоформирующего потенциала территории $P_{\text{уд}}$
Average specific indicators of the environment-forming potential of the territory of R^{ud}

Близость населенных пунктов к зонам лесной растительности	$P_{\text{уд}}$, балл/м ²
Зона тундровых лесов и редкой тайги	900
Тайга	500
Зона хвойно-широколиственных лесов	400
Лесостепная зона	500
Степная зона	600
Полупустынная и пустынная зона	550
Гористая зона Северного Кавказа	700
Южносибирская горная зона	700

Таблица 4

Поправочные коэффициенты для относительной стоимости земель K_i
Correction factors for the relative value of land K_i

Земли	Сельскохозяйственные угодья	Лесные угодья	Лесные земли, не включенные в лесной фонд	Земли под водой	Земельные участки под застройку	Земли под дорогами	Болота	Нарушенные земли	Другие земли
K_i	1,6	1,5	1,5	1,8	1,3	1,0	1,8	1,0	1,0

В этом случае значение показателя оптимальности структуры земельного участка $K_{\text{опт}}$ составляет 83,965%.

$$K_{\text{опт}} = \frac{671,72 \times 100}{800} = 83,965\%$$

Согласно оценочной шкале ранжирования по значению показателя оптимальности структуры земельного покрова $K_{\text{опт}}$ (см. табл. 1), качественные характеристики структуры земельного покрова территории соответствуют экологически неудовлетворительному состоянию.

Для оценки состояния окружающей среды на Экутальском месторождении проводится экологический мониторинг почв. По данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов Российской Федерации, на участке исследований обнаружены торфяные и подзолистые типы грунтов. Месторождение характеризуется наличием как организованных, так и неорганизованных источников негативного воздействия на окружающую среду. К неорганизованным источникам причисляется наземное обо-

Таблица 5

Химико-токсикологические исследования качества почв
Chemical and toxicological studies of soil quality

Показатель	Норматив, мг/кг	Результаты измерений						
		1П	2П	3П	4П	5П	6П	7П
Барий валовое сод., мг/кг	500	680,0	560,0	650,0	670,0	590,0	670,0	480,0
Кадмий валовое сод., мг/кг	0,50	0,61	0,48	0,65	0,62	0,55	0,61	0,52
Кобальт валовое сод., мг/кг	8,	28,7	22,4	18,6	28,5	28,5	22,5	14,7
Марганец валовое сод., мг/кг	1500,0	1060,0	740,0	985,0	1090,0	950,0	1140,0	670,0
Медь валовое сод., мг/кг	20,0	77,8	57,5	76,8	76,3	66,5	76,5	66,7
Мышьяк валовое сод., мг/кг	2,0	6,8	6,3	6,9	6,8	6,9	6,4	6,9
Нефтепродукты, мг/кг	1000,0	20 380,0	18 909,0	14 580,0	16 380,0	21 548,0	17 900,0	12 890,0
Никель, валовое сод., мг/кг	40,0	85,9	65,4	75,0	85,3	85,3	75,2	74,5
Нитрат-ион, мг/кг	130,0	56,0	89,0	95,0	97,0	97,0	87,0	90,0
pH водной вытяжки, ед.	—	8,2	8,3	8,1	7,9	8,6	8,4	8,3
Ртуть общая, мкг/кг	2,1	0,026	0,025	0,022	0,026	0,026	0,024	0,022
Свинец, валовое сод., мг/кг	32,0	20,5	27,6	28,2	21,5	21,5	18,9	18,7
Хлорид-ион, мг/кг	—	9,6	10,8	27,7	34,6	10,1	16,9	14,5
Цинк, валовое сод., мг/кг	50,0	99,0	96,0	86,0	76,0	70,0	63,0	44,0
Zc	—	28,8	24,4	21,7	24,5	28,9	24,5	17,0

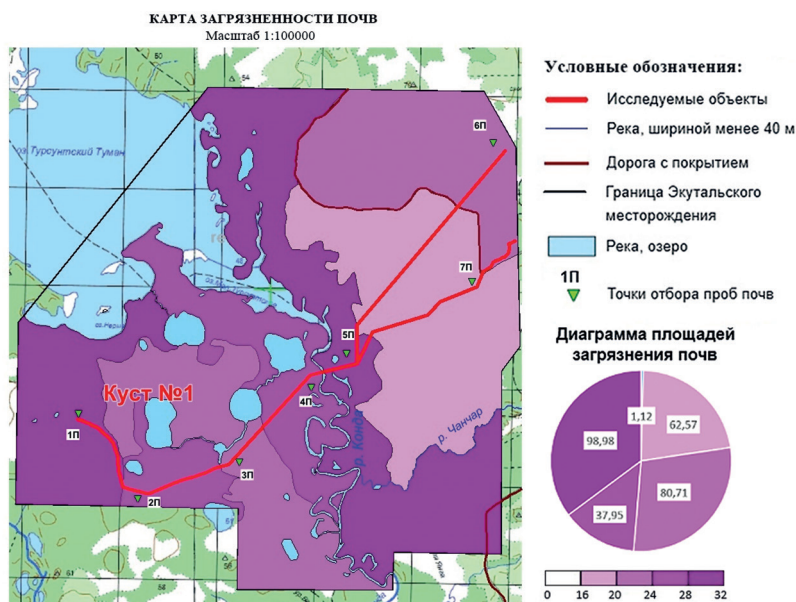


Рис. 3. Карта загрязненности почвы

Fig. 3. Soil pollution map

рудование, задействованное при строительстве скважин, а также спецтехника. Воздействие в этом случае носит неконтролируемый и диффузный характер, поскольку выбросы загрязняющих веществ происходят на значительной площади.

Выполнение программы экологического мониторинга окружающей среды позволяет выявить уровень загрязнения, а также дать оценку и прогнозирование ее состояния [3]. В рамках проведения экологического мониторинга на месторождении был осуществлен выезд сотрудников Тюменского индустриального университета для отбора проб почв и проведения химико-токсикологических исследований. Отбор проб почв осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 и ГОСТ 17.4.4.02-2017.

Валовое содержание тяжелых металлов (барий, кадмий, кобальт, марганец, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк) и общее содержание ртути определяли методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии

(М-МВИ-80-2008 (ФР.1.31.2013.14150), ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М-03-09-2013)).

Содержание нефтепродуктов определяли флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» (ПНД Ф 16.1:2.21-98), нитрат-иона — ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), хлорид-иона — argentометрическим методом по Мору (ГОСТ 26425-85). Величину pH водной вытяжки определяли потенциометрическим методом (ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.33-02).

Результаты лабораторных исследований качества почвы в контрольной точке относительно установленных нормативов представлены в табл. 5.

По результатам исследований образцов почв установлено, что почва не соответствовала установленным нормативам качества во всех точках по таким показателям, как барий, кадмий, кобальт, медь, мышьяк, нефтепродукты, никель и цинк. Оценка уровня химического загрязнения почв по Zс составила от 17,0 до 28,9 и характеризовалась как умеренно опасная.

Принята следующая шкала оценки почвы по значению Z_c : $Z_c < 16$ — допустимая; $Z_c = 16-32$ — умеренно опасная; $Z_c = 32-128$ — опасная; $Z_c > 128$ — чрезвычайно опасная.

На рис. 3 отображена карта загрязнения почв с принятой шкалой оценки почв.

Заключение

При формировании методических подходов экологического мониторинга земель важно учитывать все средоформирующие показатели, сводящиеся в единую экосистему нефтегазоносной территории. Важной составляющей является учет уровня загрязнения почвенных горизонтов, территориальных единиц и лесных экосистем.

Полученные данные, касающиеся коэффициента оптимальности структуры землепользования, результатов инженерно-экологических изысканий и степени контаминации грунтов, служат подтверждением теории о деградации экологической обстановки в границах исследуе-

мого объекта и зоне влияния Экутальского месторождения.

Разработка специализированного геопортала с применением алгоритмов искусственного интеллекта для агрегации массивов данных позволит проводить вычисления экологического потенциала территорий. Геопортал объединит сведения о нарушениях, отображая их на интерактивной аналитической панели с детализацией до конкретного проблемного объекта на картографической основе [19, 20]. Предложенные меры лягут в основу разработки среднесрочных программ, направленных на улучшение состояния нефтегазоносных территорий путем оптимизации их баланса и поддержания надлежащего качества на основе принципов адаптивного ландшафтного землепользования («активного» освоения территории).

Авторы выражают признательность за помощь коллегам и людям, чей вклад в данную работу носил чисто технический характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ziegler D., Wolff S., Agu A.-B., Cortiana G., Umair M., Durfort F. D., Neumann E., Walther G., Kristiansen J., Lienkamp M. How to measure sustainability? An open-data approach // Sustainability. 2023, vol. 15, no. 4, article 3203. DOI: 10.3390/su15043203.
2. Abdel Rahman M. A. E. An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications // Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali. 2023, vol. 34, no. 3, pp. 767 – 808. DOI: 10.1007/s12210-023-01155-3.
3. Емельянов А. А., Ерешко М. В., Сизов О. С., Борисов А. В. Обзор современных облачных платформ обработки и аналитики данных ДЗЗ и информационных продуктов на их основе // Исследование Земли из космоса. — 2022. — № 2. — С. 72 – 87. DOI: 10.31857/S020596142202004X.
4. Колесников А. А. Анализ методов и средств искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных активного дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27. — № 3. — С. 74 – 94.
5. Хатиб А., Малинников В. А. Автоматизированная классификация растительного покрова средиземноморского ландшафта по космическим изображениям высокого пространственного разрешения с учетом спектрально-текстурных и топографических признаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2021. — Т. 18. — № 2. — С. 51 – 63.
6. Ni Z., Zong Z., Ren P. Incorporating object counts into remote sensing image captioning // International Journal of Digital Earth. 2024, vol. 17, no. 1, article 2392847.
7. Zhou Q., Wang S., Liu Y. Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap // Applied Geography. 2022, vol. 145, article 102742. DOI: 10.1016/j.apgeog.2022.102742.

8. Wang H., Zhang W., Ren P. Self-organized underwater image enhancement // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2024, vol. 215, pp. 1–14.
9. Lyu X., Han H., Ren P., Grecos C. Diffusion LSTM: A framework for image sequence generation and its application to oil spill monitoring and prediction // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2024, vol. 62, article 5632313.
10. Ren P., Tao Y., Han J., Li P. Hashing for geo-localization // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023, vol. 61, article 5623213.
11. Sun X., Zhang X., Huang W., Han Z., Lyu X., Ren P. Sea ice classification using mutually guided contexts // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023, vol. 61, article 4204019.
12. Сизов А. П., Черных Е. Г., Щукина В. Н., Меркурьева К. Р. Характеристика оптимальности структуры угодий по результатам исчисления средоформирующего потенциала территории / Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию кафедры геодезии и дистанционного зондирования. — Омск, 2023. — С. 482–486.
13. Лебедев Ю. В. Эколого-экономическая оценка средоформирующего потенциала лесных ландшафтов Красноярского края // *География и природные ресурсы*. — 2013. — № 2. — С. 166–173.
14. Васильченко А. В. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // *Вестник Оренбургского государственного университета*. — 2015. — Т. 10. — № 185. — С. 147–151.
15. Солодовиков А. Ю. Состояние сырьевой базы нефти и газа в Тюменской области // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. — 2015. — Т. 2. — № 2. — С. 50–61.
16. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Разработка систем регионального мониторинга земель на основе атласного картографирования // *Известия Томского политехнического института. Инжиниринг георесурсов*. — 2016. — Т. 327. — № 7. — С. 66–83.
17. Масютенко Н. П., Чуян Н. А., Кузнецов А. В., Глазунов Г. П., Калужских А. Г., Дубовик Е. В., Панкова Т. И., Бахирев Г. И., Сухановский Ю. П., Санжарова С. И., Прущик А. В., Соловьёва Ю. А., Чуян О. Г. Система оценки ресурсного потенциала агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. — Курск, 2012. — 67 с.
18. Булатов А. И., Макаренко П. П., Шеметов В. Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. — М.: Недра, 1997. — 483 с.
19. Дубровский А. В. Методические подходы к моделированию и прогнозированию рационального использования земельных ресурсов с применением геотехнологии // *Вестник СГУГиТ*. — 2022. — Т. 27. — № 3. — С. 145–156. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-145-156.
20. Klopfer F., Gruehn D. Leveraging open source land use and land cover data for urban and regional planning in transforming areas // *Regional Studies, Regional Science*. 2024, vol. 11, no. 1, pp. 738–756. DOI: 10.1080/21681376.2024.2422348. **РИАБ**

REFERENCES

1. Ziegler D., Wolff S., Agu A.-B., Cortiana G., Umair M., Durfort F. D., Neumann E., Walther G., Kristiansen J., Lienkamp M. How to measure sustainability? An open-data approach. *Sustainability*. 2023, vol. 15, no. 4, article 3203. DOI: 10.3390/su15043203.
2. Abdel Rahman M. A. E. An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*. 2023, vol. 34, no. 3, pp. 767–808. DOI: 10.1007/s12210-023-01155-3.
3. Emelyanov A. A., Ereshko M. V., Sizov O. S., Borisov A. V. Review of modern cloud platforms for processing and analyzing remote sensing data and information products based on them. *Earth Research from Space*. 2022, no. 2, pp. 72–87. [In Russ]. DOI: 10.31857/S020596142202004X.
4. Kolesnikov A. A. Analysis of Artificial intelligence methods and tools for active remote sensing data analysis and interpretation. *Vestnik SSUGT*. 2022, vol. 27, no. 3, pp. 74–94. [In Russ].
5. Khatib A., Malinnikov V. A. Automated classification of vegetation cover of the Mediterranean landscape based on high-resolution space images taking into account spectral-textural and topographic

features. *Current problems in remote sensing of the earth from space*. 2021, vol. 18, no. 2, pp. 51–63. [In Russ].

6. Ni Z., Zong Z., Ren P. Incorporating object counts into remote sensing image captioning. *International Journal of Digital Earth*. 2024, vol. 17, no. 1, article 2392847.

7. Zhou Q., Wang S., Liu Y. Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap. *Applied Geography*. 2022, vol. 145, article 102742. DOI: 10.1016/j.apgeog.2022.102742.

8. Wang H., Zhang W., Ren P. Self-organized underwater image enhancement. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2024, vol. 215, pp. 1–14.

9. Lyu X., Han H., Ren P., Grecos C. Diffusion LSTM: A framework for image sequence generation and its application to oil spill monitoring and prediction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2024, vol. 62, article 5632313.

10. Ren P., Tao Y., Han J., Li P. Hashing for geo-localization. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023, vol. 61, article 5623213.

11. Sun X., Zhang X., Huang W., Han Z., Lyu X., Ren P. Sea ice classification using mutually guided contexts. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023, vol. 61, article 4204019.

12. Sizov A. P., Chernykh E. G., Shchukina V. N., Merkurieva K. R. Characteristics of the optimal structure of lands based on the results of calculating the environment-forming potential of the territory. *Geodeziya, zemleustroystvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya: sbornik nauchnykh trudov po materialam V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letnemu yubileyu kafedry geodezii i distantsionnogo zondirovaniya* [Geodesy, land management and cadastres: problems and development prospects: collection of scientific papers based on the materials of the V International scientific and practical conference dedicated to the 105th anniversary of the Department of Geodesy and Remote Sensing], Omsk, 2023, pp. 482–486. [In Russ].

13. Lebedev Yu. V. Ecological and economic assessment of the environment-forming potential of forest landscapes in Krasnoyarsk Krai. *Geography and Natural Resources*. 2013, no. 2, pp. 166–173. [In Russ].

14. Vasilchenko A. V. The problem of environmental assessment of soil pollution by oil products. *Bulletin of Orenburg State University*. 2015, vol. 10, no. 185, pp. 147–151. [In Russ].

15. Solodovnikov A. Yu. State of the oil and gas resource base in the Tyumen region. *Tyumen state university herald. Natural resource use and ecology*. 2015, vol. 2, no. 2, pp. 50–61. [In Russ].

16. Verkhoturov A. A., Melkiy V. A. Development of regional land monitoring systems based on atlas mapping. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016, vol. 327, no. 7, pp. 66–83. [In Russ].

17. Masyutenko N. P., Chuyan N. A., Kuznetsov A. V., Glazunov G. P., Kaluzhskikh A. G., Dubovik E. V., Pankova T. I., Bakhirev G. I., Sukhanovskiy Yu. P., Sanzharova S. I., Prushchik A. V., Solov'eva Yu. A., Chuyan O. G. *Sistema otsenki resursnogo potentsiala agrolandshaftov dlya formirovaniya ekologicheskii sbalansirovannykh agrolandshaftov* [A system for assessing the resource potential of agricultural landscapes for the formation of ecologically balanced agricultural landscapes], Kursk, 2012, 67 p.

18. Bulatov A. I., Makarenko P. P., Shemetov V. Yu. *Okhrana okruzhayushchey sredy v neftegazovoy promyshlennosti* [Environmental protection in the oil and gas industry], Moscow, Nedra, 1997, 483 p.

19. Dubrovsky A. V. Methodological approaches to modeling and forecasting the rational use of land resources using geotechnologies. *Vestnik SSUGT*. 2022, vol. 27, no. 3, pp. 145–156. [In Russ]. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-145-156.

20. Klopfer F., Gruehn D. Leveraging open source land use and land cover data for urban and regional planning in transforming areas. *Regional Studies, Regional Science*. 2024, vol. 11, no. 1, pp. 738–756. DOI: 10.1080/21681376.2024.2422348.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Богданова Ольга Викторовна¹ — д-р экон. наук, доцент,
зав. кафедрой, e-mail: bogdanovaov1@tyuiu.ru,
ORCID ID: 0009-0007-9540-6183,

*Черных Елена Германовна*¹ — д-р техн. наук, доцент,
профессор, e-mail: chernyheg@tyuiu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2644-4721,
*Меркурьева Кристина Рудольфовна*¹ — старший преподаватель,
e-mail: k_r_merkurieva@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6650-9107,
*Сизов Александр Павлович*² — д-р техн. наук, доцент,
профессор, e-mail: ap_sizov@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6175-0145,
*Симонян Владимир Викторович*² — д-р техн. наук, доцент,
зав. кафедрой, e-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3224-9500,
*Смирнов Игорь Николаевич*² — преподаватель,
e-mail: don5igor@yandex.ru, Scopus Author ID: 58823373100,
Author ID (ПИНЦ): 114135,
¹ Тюменский индустриальный университет,
² Московский государственный строительный университет.
Для контактов: Черных Е.Г., e-mail: chernyheg@tyuiu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*O.V. Bogdanova*¹, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor,
Head of Chair, e-mail: bogdanovaov1@tyuiu.ru,
ORCID ID: 0009-0007-9540-6183,
*E.G. Chernykh*¹, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Professor, e-mail: chernyheg@tyuiu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2644-4721,
*K.R. Merkurieva*¹, Senior Lecturer,
e-mail: k_r_merkurieva@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6650-9107,
*A.P. Sizov*², Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Professor, e-mail: ap_sizov@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6175-0145,
*V.V. Simonyan*², Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Head of Chair, e-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3224-9500,
*I.N. Smirnov*², Lecturer, e-mail: don5igor@yandex.ru,
Scopus Author ID: 58823373100,
Author ID (RSCI): 114135,
¹ Industrial University of Tyumen, 625001, Tyumen, Russia,
² Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Russia.
Corresponding author: E.G. Chernykh, chernyheg@tyuiu.ru.

Получена редакцией 25.08.2026; получена после рецензии 15.09.2026; принята к печати 20.09.2026.
Received by the editors 25.08.2026; received after the review 15.09.2026; accepted for printing 20.09.2026.

