

Обзорная статья

 УДК 504.054 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82> EDN UXLLQH

Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования

Сергей Александрович Чайкин¹, Артём Сергеевич Бузмаков², Владислав Эдуардович Симонов³

^{1,2,3} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ chaykinsa@hotmail.com

² buzmartem@gmail.com

³ simonovvladislav71@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена современному представлению о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений. В работе анализируется масштаб и последствия антропогенного воздействия на экосистемы, связанные с добычей и переработкой нефти. Особое внимание уделяется проблемам деградации земель, водных ресурсов, изменениям почвенного и растительного покрова, а также влиянию на биоразнообразие. Современные исследования показывают, что традиционные подходы к управлению природопользованием при нефтедобыче часто недостаточны для обеспечения сохранения природных экосистем. В статье рассматриваются ключевые факторы, определяющие интенсивность и характер техногенного воздействия: глубина залегания, тип месторождения, технологии добычи, а также инфраструктура. Важным аспектом является роль территорий режима особого природопользования (ООПТ) в минимизации негативных последствий. Статья аргументирует, что эффективная охрана экосистем и компенсация ущерба возможна только при комплексном подходе, включающем строгое соблюдение экологических норм, внедрение современных технологий, а в ряде случаев, присвоение статуса особой охраны (ООПТ) для повышения эффективности сохранения и восстановления нарушенных экосистем. Работа подчеркивает необходимость научно обоснованного подхода к планированию и регулированию деятельности по освоению нефтяных месторождений, направленного на сведение к минимуму негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, нефтяное месторождение, биоремедиация, ООПТ, техногенез

Для цитирования: Чайкин С.А., Бузмаков А.С., Симонов В.Э. Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 71–82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82>. EDN UXLLQH.

Review Paper

Modern understanding of technogenic transformation of nature during exploitation of oil fields and the role of special nature management regime areas

Sergei A. Chaikin¹, Artem S. Buzmakov², Vladislav E. Simonov³

^{1,2,3} Perm State University, Perm, Russia

¹ chaykinsa@hotmail.com

² buzmartem@gmail.com

³ simonovvladislav71@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the modern idea of technogenic transformation of the nature during exploitation of oil fields. The paper analyzes the scale and consequences of anthropogenic impact on ecosystems associated with oil production and processing. Special attention is paid to the problems of land degradation, water resources, changes in soil and vegetation cover, as well as the impact on biodiversity. Current research shows that traditional approaches to environmental management in oil production are often insufficient to ensure the conservation of natural ecosystems. The article discusses the key factors that determine the intensity and nature of anthropogenic impacts: depth of occurrence, type of field, extraction technologies, and infrastructure. An important aspect is the role of special nature management areas (protected areas) in minimizing negative consequences. The article argues that effective protection of ecosystems and compensation for damage is possible only with an integrated approach, including strict compliance with environmental regulations, introduction of modern technologies, and in some cases, assigning special conservation status (protected areas) to increase the effectiveness of preserving and restoring damaged ecosystems. The paper emphasizes the need for

a science-based approach to the planning and regulation of oil field development activities aimed at minimizing the negative impact to the environment.

Key words: anthropogenic impact, oil field, bioremediation, protected areas, technogenesis

For citation: Chaikin, S., Buzmakov, A. and Simonov, V. 2025. Modern understanding of technogenic transformation of nature during exploitation of oil fields and the role of special nature management regime areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 71-82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82>. EDN UXLLQH. (in Russian)

Введение

Термин «техногенез» впервые был использован академиком А.Е. Ферсманом в 1934 г. Работы А.Е. Ферсмана основаны на учении В.И. Вернадского о ноосфере, где основным признаком ноосферы является техногенная миграция химических элементов в географической оболочке или техногенез. Техногенез – это совокупность геохимических и минералогических процессов, связанных с промышленной деятельностью человека. Техногенез включает в себя извлечение, концентрацию, перераспределение и рассеивание химических элементов в окружающей природной среде [35].

Потребность изучения техногенного воздействия на наземные экосистемы вызвана необходимостью создания экологической теории сохранения, восстановления и использования природной среды, выявления закономерностей трансформации и принятием неотложных мер по регулированию отрицательного влияния промышленности на природные компоненты и комплексы [15-17].

Соединение подходов биогеографии, экологии и ландшафтоведения позволяет получить новые представления, как о пространственно-временных, так и о структурно-функциональных закономерностях существования преобразованных экосистем. Современное изучение наземных экосистем базируется на комплексе географических и экологических методов, позволяющих выявлять закономерности природно-техногенных процессов [15, 16].

Разработка и применение единого комплекса сбора, анализа и обобщения информации о состоянии природной среды, включающего в себя методы слежения и экспериментирования за распространением техногенных воздействий, обеспечивает изучение направления, последовательности состояний и обратимости природно-техногенных процессов трансформации наземных экосистем с учетом географических особенностей региона.

Полученные экспериментальные данные, результаты полевых обследований, анализ литературных источников позволяют описать различные особенности техногенной трансформации экосистем.

Техногенная трансформация экосистем (природной среды) – это процесс изменения природных компонентов и комплексов под воздействием производственной деятельности [13].

Вместе с тем проблема исследования техногенной трансформации природно-техногенных экосистем на территории эксплуатируемых нефтяных месторождений в различных регионах РФ остается актуальной [31]. Усиливающееся влияние техногенеза на природные процессы, несовершенство способов его изучения, нередко затрудняют, делают невозможным точное определение генезиса тех или иных явлений, вызыва-

ющих существенные изменения состояния экологической обстановки в различных регионах. Но в то же время, вопросы, связанные с экогеохимической характеристикой трансформации ПТЭ исследованы слабо, особенно на территориях с особым режимом хозяйственной деятельности (ТОР).

Техногенная трансформация

Нефтяная промышленность является ведущей отраслью РФ и включает в себя процессы добычи, переработки, хранения, транспортировки и сбыта готовой продукции [48]. На разных этапах добычи нефти в окружающую среду поступают различные химические элементы природного (газ, нефтесодержащие породы и жидкость, минерализованные пластовые воды) и техногенного происхождения (буровые растворы, химические реагенты и кислоты, горюче-смазочные материалы), вместе с выходом высокоминерализованных пластовых вод, зоны добычи нефти загрязняются такими тяжелыми металлами, как *Cd*, *Cu*, *Hg*, *Mo*, *Pb*, *Sb* и *Zn* [57].

В результате проведенного исследования, описанного в работе [51] определено, что наиболее опасные процессы трансформации и накопления загрязняющих веществ сосредоточены в зоне влияния установок первичной подготовки нефти (УППН).

Нефть, как и любое вещество имеет определенный состав компонентов, известны индексы классификации сырой нефти, описанные в исследовании [54]. Индекс рассчитывался на основе водного и масляного состава, именно состав сырой нефти важно учитывать при изучении нефтезагрязнения.

Исследование техногенной миграции веществ в атмосферном воздухе, водных объектах и почвенном покрове, позволяет выделить основные природно-техногенные экосистемы (ПТЭ), формирующиеся на территории эксплуатируемых месторождений нефти [16]. В работе [36], авторы для обозначения техногенных экосистем используют понятие «техногеосистема», которая является частной категорией техногенных геосистем. Под техногеосистемой предлагается понимать целостные совокупности модифицированных природных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения.

Вопросы техногенного воздействия нефтедобывающих предприятий на природную среду характеризуются неравномерной изученностью в отношении влияния промышленности на природные компоненты [9], а изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью потоков, поступающих в природную среду, и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель [25].

В разное время изучением вопросов, связанных с изменением природных компонентов на территориях

нефтепромыслов занимались различные авторы: подробно проанализированы проблемы, связанные с изменением геологической среды [19], почвенного покрова [43], процессов деградации нефти в окружающей среде [38], восстановлением нарушенных земель. Существуют сведения по мелкомасштабному районированию потенциала устойчивости ландшафтных комплексов к нефтепромысловому воздействию [21]. Оценены последствия подземных ядерных взрывов на территории месторождений [2].

На территории Пермского края хорошо изучены проблемы, связанные с загрязнением водных объектов и почвенного покрова [30]. Менее подробно оценены параметры влияния на атмосферу [16]. Изучение природных компонентов проводилось на локальном уровне.

Для территории Пермского края по результатам исследования [14] установлены показатели допустимого содержания нефти в различных типах почв, варьирующие в пределах 1,0-5,3 г/кг.

В Пермском крае сложились устоявшиеся научные традиции в изучении трансформации природных комплексов и компонентов, влияния нефтедобывающей промышленности на окружающую среду [19]. Исследование географических объектов опирается на системный подход [24]. Достаточно подробно описано фоновое состояние природных компонентов [33, 45, 46], ландшафтов [32].

Территории с особым режимом хозяйственной деятельности

Различные территории с особым режимом хозяйственной деятельности можно разделить на три крупных блока: природные, антропогенные и техногенные, и разграничить их по степени возможности природопользования, с учетом статуса территорий и режима природопользования. Развитие нефтедобычи на ТОР может быть ограничено природно-климатическими, горно-геологическими, техногенными, экологическими, социально-экономическими, правовыми и другими условиями.

Разработка месторождений нефти и газа сопровождается авариями и утечками нефти, что ведет к возникновению на прилегающих территориях неблагоприятных экологических ситуаций, проявляющихся в формировании загрязненных грунтовых вод и, соответственно, лито- и гидрогеохимических ореолов загрязнения [29], но в любом случае нагрузки на природную среду связаны с физическими воздействиями (механогенез) и с геохимическими воздействиями (атмосферное загрязнение, битумизация, галогенез), возникающих не только при авариях на технологических объектах, но и связанных с технологическими выбросами [43]. Дополнительно С.А. Бузмаков и С.М. Костарев разделяют техногенные нагрузки на предусмотренные и обусловленные технологией нефтедобычи (несовершенство технологий, нарушение регламентного режима работы и др.) [16].

Выявление техногенных трансформаций можно определять по дешифровке съемки с БПЛА, фиксирующей такие последствия техногенной трансформации природной среды, как механогенез, битумизация и галогенез. Под техногенным механогенезом принимается физическое нарушение целостности экосистем,

перемещение почв и грунтов; битумизация выражается в миграции указанных нефтяных углеводородов по почвам, грунтам, поверхностным, внутрипочвенным и подземным водам и их разрушении; миграция солей в указанных средах определена как галогенез [17].

В качестве методов оценки нефтезагрязненных территорий выступают методы биотестирования и фитотестирования. Научная обоснованность методов доказывается во многих проведенных исследованиях.

В исследовании [14] эффективность фитотестирования подтверждена благодаря выявлению уровней токсичности типов почв для сельскохозяйственных и лесообразующих растений.

В работе [28] для оценки состояния вод проведено биотестирование в лабораторных условиях, в качестве тест-объектов использовались рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) и водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Для определения степени загрязненности почв проводилось фитотестирование на пшенице (*Triticum sp.*) и кресс-салате (*Lepidium sativum*). Для оценки состояния экосистемы применен метод расчета относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла и индекса флуктуирующей асимметрии на хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

В исследовании [49] проведен эксперимент эффективности семян вигны посевной (*Vigna*) для мониторинга почв, загрязненных легкой нефтью.

Помимо методов биотестирования, также может быть применим метод использования спектрального индекса для оценки сорбционных явлений в нефтезагрязненных почвах на микро- и макроуровнях [50]. Загрязнение нефтью снижает фильтрационные способности и испарение в почве [55].

Техногенная трансформация, в изученных случаях представляет собой загрязнение почвы нефтяными углеводородами, в частности эти почвы надо восстанавливать. При добыче полезных ископаемых очень важно сохранять биологическую продуктивность почвы. Биологически продуктивные почвы – это невозобновляемый природный ресурс. Он формируется сотни лет под влиянием природных и антропогенных факторов почвообразования [1].

Для восстановления нефтезагрязненных почв, используется метод биоремедиации и фиторемедиации, они направлены на свойства организмов поглощать те или иные компоненты нефти. В работе [42] приведены примеры таких методов, авторами проанализировано 47 запатентованных технологий. Чаще всего в фиторемедиации используются виды, относящиеся к семейству бобовых, а в биоремедиации организмы, азотобактеры.

Органическое загрязнение окружающей среды является серьезной проблемой, которая влияет на почву, воду и воздух планеты, представляя значительную угрозу для экосистем и живых организмов. Биоремедиация стала многообещающим решением для борьбы с органическим загрязнением почвы благодаря своей низкой стоимости и простоте [58].

Микробная реабилитация стала важным направлением в борьбе с загрязнением почвы из-за ее экологичности, экономичности и высокой эффективности. Различные микроорганизмы используют разные механизмы обработки загрязняющих веществ, включая

поверхностную адсорбцию, внутриклеточное накопление и биоминерализацию [60].

В исследовании [53] идентифицированы некоторые почвенные микроорганизмы, связанные с деградацией масла и стимулированием роста растений, такие как *Cavicella*, *C1_B045*, *Sphingomonas*, *MND1*, *Bacillus* и *Ramlibacter*.

В исследовании [59] метод биоремедиации был усовершенствован и проведен с помощью наночастиц с внедрением в процесс искусственного интеллекта (ИИ). Таким образом, сочетание нано- и биоремедиации может привести к появлению подходящей технологии, получившей название «нанобиоремедиация», которая, как ожидается, устранит недостатки биоремедиации.

В работе [52] объектами исследования стали два разных типа почв. Скорость и интенсивность биodeградации нефти в песчаном подзоле за счет деятельности микроорганизмов, а также скорость и степень восстановления растительного покрова были значительно ниже по сравнению с дерново-подзолистой почвой, несмотря на одинаковый уровень нефтяного загрязнения.

Помимо использования живых организмов для рекультивации, известны и другие подходы. Например, эффективным методом очистки можно считать термическую промывку нефтесодержащих шламов персульфатом натрия с добавлением поверхностно-активного вещества лигносульфоната натрия [56].

Изучая опыт работы зарубежных нефтяных компаний на ТОН [3], можно отметить стремление найти нестандартные решения возникающих экологических и производственных проблем при совместном использовании таких территорий.

Например, при строительстве и эксплуатации Трансальпийского нефтепровода для рекультивации поверхности, высевали специально отобранные для данной природно-климатической зоны, сорта быстрорастущих трав. Трубопровод на ряде участков обходит места обитания редких животных и птиц, нерестилища рыб, стоянки древних людей. На естественных путях миграции диких животных, путем поднятия трубы на высоту 4-5 м или заглублении ее в грунт, были построены переходы. Строительные работы проводились на расстоянии более 800 м от заповедников, зон отдыха, зарегистрированных национальных исторических мест или национальных парков [22].

Компания Western Geophysical в 1998 г., планируя выполнить сейсмическую трехмерную разведку в экологически чувствительной переходной зоне штата Луизиана, разработала программу обеспечения экологической безопасности, основанную на мониторинге и соответствующем экологическом обучении персонала. Необходимость разработки специальной программы была обусловлена требованиями частных землевладельцев, государственных управляющих организации и группы натуралистов к деятельности в экологически чувствительных зонах. Нарушение этих требований могло привести к значительным убыткам, штрафам, приостановке или даже к запрету деятельности. Для предупреждения такого нежелательного развития событий и с учетом возрастающего воздействия на окружающую природную среду сейсмические подрядчики

сконцентрировали внимание на мониторинге и внесении корректив в экологическое обучение персонала. С этой целью компания разработала двухэтапную программу защиты окружающей среды при обследовании заказника в дельте р. Миссисипи в юго-восточной части США. Целью программы являлся системный подход к региональной защите природной среды, который мог быть реализован в основном экологически обученными членами сейсмической партии посредством бережного отношения к окружающей среде. [30].

В то же время уникальным примером является деятельность компании Occidental Exploration and Production (OEP) в Эквадоре. Для работы в экологически чувствительных лесных районах компания разработала стратегию в отношении защиты окружающей среды и оказания поддержки местным жителям в обеспечении их безопасности, сохранении здоровья, повышения культуры земледелия, обучения ремеслам, просвещения. Специалистами компании разработаны методы, обеспечивающие сохранность действующих сложных экологических систем и их быстрое восстановление в случаях негативного воздействия. Для сохранения растительности уменьшается число дорог, площадей под бурение и мест для размещения оборудования. Вся промысловая вода закачивается обратно в пласт, твердые отходы вывозятся в специально отведенные места. Сжигание газа на факелах производится в горизонтальном положении. Если возникает необходимость удаления дерева при проведении операции, оно регистрируется. После окончания операции высаживается новое дерево такого же вида. Деревья компания ОЕР берет из самостоятельно поддерживаемых природных питомников.

При разработке крупного месторождения на берегу Ла-Манша компании British Petroleum пришлось в течение двух лет провести почти 400 различных конференций и переговоров с более чем 40 организациями. Значительная часть обсуждавшихся проблем была нацелена на снижение риска, связанного с разработкой месторождения вблизи важнейшего морского коридора Европы.

Компания «Архангельскгеолдобыча» при проведении поисковых работ на архипелаге Шпицберген проводила оценку влияния шума вертолетов на состояние морских птиц. В результате исследований были разработаны маршруты и определена высота полетов вертолетов с учетом мест и периодов гнездования и линьки гаги, гусей и морских птиц, что позволило минимизировать фактор беспокойства и исключить шумовое воздействие на среду обитания птиц.

Нефтяная компания Arco при содействии департамента по рыболовству и охране дичи штата Калифорния открыла заповедник в районе разработки нефтяных и газовых месторождений Норт и Саут Коулз Леви. Заповедник позволяет сохранить редкие и вымирающие виды животных и растений в округе Керн. Совместные усилия в организации заповедника со стороны компании и ведомства штата дали возможность развивать нефтедобычу в условиях сохранения редких видов животных и растений. Меры по сохранению исчезающих видов животных включали установку изгородей и решеток, удаление с территории заповедника

неиспользуемого оборудования. По окончании разработки месторождений заповедник будет сохранен.

Для территории Российской Федерации развитие нефтедобычи на ТОР характерно для многих регионов страны [4, 6, 7, 23, 26, 37, 41, 48].

На севере РФ лицензионные участки недр ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» затрагивают территории следующих ООПТ: ихтиологический заказник республиканского значения «Сынинский» (Леккерское и Пыжьельское месторождения, Шарьюсская площадь); ихтиологический заказник республиканского значения «Усинский» (Шарьюсская площадь); комплексный заказник «Сэбысь» (Западно-Аресское месторождение); ботанический (кедровый) памятник природы «Кременьель» (Северо-Кожвинское месторождение).

При выполнении мероприятий по соблюдению экологического равновесия возможно совместное использование территорий.

В Саратовской области по заказу ЗАО «ЛУКОЙЛ-Саратов», в пределах Карпенского лицензионного участка, включающего площадь «Черная Падина» и прилегающие территории были пробурены параметрические и структурные скважины (скв. 1 Солнечная, скв. 1 Жулидовская, скв. 6 Ждановская, скв. 5 Ершовская, скв. 1 Тимофеевская и др.). Особенностью данных нефтяных объектов является расположение вблизи ООПТ – государственного степного зоологического заказника «Саратовский». Он создан для сохранения среды обитания дрофы – редкого вида птиц отряда журавлеобразных, занесенного в Красную книгу России. Кроме этого, на этой же площади, но вне зоны влияния строительства скв. 1-ЧП находится памятник природы областного значения «Тюльпанная степь».

Аналогичные проблемы возникли при строительстве поисковой скв. 1-Грозненской, заложенной в 17 км к востоку от г. Грозного вблизи Аргунского заказника, непосредственно в районе выхода Сунженских подземных источников, играющих немаловажную роль в водоснабжении г. Грозного. Расположение буровой площадки в водоохранной зоне и крайне неблагоприятные гидрогеологические условия обусловили применение полного комплекса природоохранных мероприятий, включая лучший вариант безамбарного метода сбора отходов бурения, систему замкнутого оборотного водоснабжения с дублирующими устройствами очистки буровых сточных вод, экологический мониторинг с использованием наблюдательной сети для контроля возможного изменения качества поверхностных и подземных вод, почв и атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне.

ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» ведет разработку месторождений, расположенных в Волгоградской области, в пределах Иловатовского, Потемкинского и Левобережного лицензионных участков. Данная территория сопряжена с акваторией Волгоградского водохранилища высшей рыбохозяйственной ценности и наличием водоохранных зон. Кроме того, на исследуемой площади находятся ООПТ, представленные водно-болотными угодьями и ключевыми орнитологическими территориями. Дополнительные требования и ограничения при открытии промышленных залежей углеводородов устанавливаются для обустрой-

ства и разработки месторождений с объемным содержанием в продукции более 6% сероводорода. Для таких объектов должна быть установлена буферная (защитная) зона. На ее территории не допускается проживание населения.

В уникальных экологически уязвимых зонах Северного Кавказа и Нижнего Поволжья, на Северном и Среднем Каспии, на Азовском море расположены следующие нефтяные объекты: скв.156 Правобережная в затопляемой зоне р. Терек; скв. 1 и 2 Басс в заповедной зоне Чеченской республики; скв. 2 Центрально-Астраханская в затопляемой зоне Волго-Ахтубинской поймы; скв. 3 Палласовская, скв. 90, 97, 104, 108 Белокаменного месторождения, скв. 147 Антиповско-Балыклейская в водоохранной зоне Волгоградского водохранилища.

Компания «Урайнефтегаз» разрабатывает Тальниковское газонефтяное месторождение на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Лицензионный участок данного месторождения частично совпадает с территорией государственного природного парка окружного значения «Кондинские озера». Он создан для сохранения водной системы озер Арантур, Пон-Тур, Ранге-Тур Кондинского речного бассейна и прилегающих территорий с расположенными на них природными ландшафтами, историческими и археологическими памятниками культуры. Отличительной особенностью природного парка является сравнительно высокая озерность, что привлекает большое число разнообразных водоплавающих птиц. Для развития нефтедобычи в границах ООПТ утверждены особые условия, предусматривающие применение новейших технологий и высокую культуру производства.

АО РИТЭК осваивает Луговое месторождение (Республика Татарстан), которое находится в лесопарковой и природоохранной зонах. Проложенный через Уральские горы участок трассы магистрального газопровода «Сияние Севера», оказался на территории национального парка «Югыд Ва», что накладывает дополнительную ответственность на ООО «Севергазпром» в части соблюдения природоохранного законодательства на территории парка. В пределах ООПТ проводятся регулярные комплексные экологические обследования.

ОАО «Сургутнефтегаз» ведет разработку Тянского нефтяного месторождения, расположенного на севере Сургутского района. На территории нефтедобычи для коренного населения выделены родовые угодья, где учитываются интересы местного населения.

На территории деятельности «ЛУКОЙЛ-Лангепаснефтегаз» в Нижневартовском районе расположены более 50 этнографических и археологических объектов.

НГДУ «Альметьевскнефть» проводит бурение и эксплуатацию нефтяных скважин Ромашкинского месторождения, в черте города Альметьевск. Особенность бурения в городской черте состоит в следующем: применяется наклонно-направленное бурение, со смещением более 1100 м от устья, конструкция скважин усилена дополнительными технологическими колоннами, вместо открытых амбаров применяется закрытая циркуляционная система очистки бурового

раствора, буровой шлам вывозится на пределы городской черты.

Особым примером развития нефтедобычи на ТОР является освоение месторождений углеводородов компанией «ЛУКОЙЛ» в заповедной северной части Каспийского моря [5, 20, 40, 41]. Акватория лицензионного участка характеризуются непосредственной близостью к границам водно-болотного угодья «Дельта реки Волги» и Астраханского государственного биосферного заповедника.

В целях сохранения уникального природного комплекса Каспийского моря от последствий нефтяного загрязнения выделяются зоны приоритетной защиты. В основу работы по выявлению экологических особенностей и пространственно-временного распространения биоты прибрежной территории и акватории Северного Каспия положен анализ современного состояния наземных и морских ценозов, ареалов и районов массовых скоплений птиц, а также состояния ихтиофауны в сезонной динамике и их взаимосвязи с биопродуктивностью морских экосистем на основе экологических исследований. Зонами приоритетной защиты, или экологической уязвимости, природно-ресурсного потенциала Каспия являются районы, которые обладают высокими продукционными показателями на всех уровнях организации наземных и морских сообществ, а также места наибольшей концентрации рыб, животных и птиц в различные периоды года. Зоны приоритетной защиты определяются на основе градации экологической ценности морских биосистем и островных биотопов с учетом сезонной динамики морских и наземных экосистем.

Природные особенности Каспия вызвали необходимость разработки специальных экологических и рыбохозяйственных требований в этом районе моря. Такие требования устанавливают правила, особые условия и ограничения проведения геологического изучения, разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья в заповедной зоне в северной части Каспийского моря в целях сохранения биоразнообразия и продуктивности водных и прибрежных экосистем и рыбохозяйственного потенциала Каспийского бассейна, как уникального рыбопромыслового региона страны.

В основе экологической политики компании «ЛУКОЙЛ» для Северного Каспия заложен принцип «нулевых сбросов». Это определило спектр научных исследований и как их результат – соответствующие природоохранные технические и технологические решения. В соответствии с принципом «нулевых сбросов» осуществляется проектирование строительства поисковых скважин, выбор технических средств и технологий, разработаны программы экологического мониторинга и проведены комплексные исследования гидрометеорологических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, геохимических, микробиологических, териологических и ихтиологических показателей экосистемы.

Классифицирование ТОР, с учетом воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду, является актуальным направлением по систематизации исследуемых территорий.

Классификация необходима для понимания исследуемых процессов и явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека и средоохранной ролью ТОР. Следует отметить, что классификация с картографическим сопровождением – это наилучшая форма подведения итогов любого географического исследования [27]. Научная систематика требует от любой классификации разделения совокупности по естественным признакам, заложенным в самой природе вещей или явлений [39]. В данной работе систематизированы ТОР с позиции экологизации хозяйственной деятельности, или рассматривая более узко, с позиции экологизации нефтедобычи.

Главный вопрос – критерии классифицирования. Их оказывается много, они разнокачественные, разномасштабные, неравнозначные. Очевидно, что при любом решении классификация должна быть многоступенчатой, и возникает проблема приоритетности, очередности критериев, последовательности их ввода в классификацию через систему таксономических единиц [27]. С учетом воздействия и ограничения хозяйственной деятельности можно выделить следующие критерии классифицирования ТОР: происхождение (природное, антропогенное, техногенное); цель создания; статус ТОР (федеральный, региональный, локальный, муниципальный и др.); режим природопользования ТОР; степень ограничения хозяйственной деятельности (невозможна, возможна с ограничениями); продолжительность ограничений (постоянное, временное); характер ограничений (экологические, горно-геологические, производственно-технические).

Проблема классификации природных охраняемых территорий не нова. Наиболее полно данная проблематика проанализирована в монографии Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка «Особо охраняемые природные территории» [39]. Авторы, в своей работе, подробно останавливаются на классификациях [8] «Сводка международных и национальных классификаций, заповедных территорий» и «Функциональная классификация охраняемых площадей» и, также, предлагают свою классификационную схему «Природные и природно-антропогенные охраняемые территории». Данные классификации систематизируют ООПТ и другие охраняемые объекты по различным критериям и показателям, но совершенно не затрагивают техногенные территории, где хозяйственная деятельность интенсивна и степень изменения природной среды высока.

Кроме того, в нормативных документах созданы одноуровневые классификации различных ТОР (ВЗ, защитные леса, СЗЗ, ЗСО), которые основаны на одном таксономическом признаке или параметре (размеры, степень охраны, класс бонитета и т.п.).

Заключение

Техногенная трансформация природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений выражается в увеличении поступления в водотоки хлоридов, спорадической или хронической миграции углеводородов, закислении атмосферного воздуха. В результате механизмов галогенеза, битумизации и закисления атмосферы формируются природно-технические системы, природно-техногенные экосистемы.

В современных условиях интенсификации добычи нефти существенно возрастает нагрузка на природные

экосистемы. Использование технологий глубокого бурения, гидравлического разрыва пластов, закачка химикатов и попутная добыча токсичных веществ приводят к значительным изменениям природных ландшафтов и ухудшению качества окружающей среды. Особенно остро эта проблема проявляется на территориях с повышенной чувствительностью к внешним воздействиям – заповедники, национальные парки.

Для минимизации негативных последствий разрабатываются специальные меры охраны природы и ограничения хозяйственной деятельности на особо охраняемых территориях. Такие территории играют важную роль в сохранении биоразнообразия, поддержании устойчивости экосистем и создании условий для устойчивого развития регионов.

Современные технологии позволяют значительно снизить нагрузку на окружающую среду. Применение экологически чистых методов разработки нефтяных месторождений, применение передовых способов очистки сточных вод и утилизации отходов способствуют улучшению экологической обстановки и сохранению уникальных природных комплексов. Важна также работа по реабилитации нарушенных земель и восстановлению нарушенной растительности и животного мира.

Рассмотренные исследования подчеркивают актуальность изучения техногенной трансформации экосистем в контексте нефтедобывающей промышленности. От теоретических основ, заложенных А.Е. Ферсманом и В.И. Вернадским, до современных комплексных исследований, прослеживается эволюция понимания воздействия человеческой деятельности на природные комплексы. Выявлена необходимость разработки единых подходов к оценке и мониторингу изменений, происходящих в наземных экосистемах под влиянием техногенных факторов.

Проблема исследования техногенной трансформации природно-техногенных экосистем на территориях нефтегазовых месторождений остается острой, требующей дальнейших исследований и разработки эффективных методов управления и минимизации негативного воздействия. Особое внимание следует уделять территориям с особым режимом хозяйственной деятельности, где баланс между экономическим развитием и сохранением природной среды становится критически важным.

Обзор современных подходов к рекультивации нефтезагрязненных территорий демонстрирует многообразие и сложность решаемых задач. От инновационных методов нанобиоремедиации, сочетающих возможности нанотехнологий и искусственного интеллекта, до традиционных способов термической промывки и биodeградации. Выбор оптимальной стратегии зависит от множества факторов, включая тип почвы, степень загрязнения и климатические условия.

Опыт зарубежных и отечественных нефтяных компаний подчеркивает важность комплексного подхода к освоению территорий с особыми условиями природопользования. Успешная деятельность в таких регионах требует не только применения передовых технологий, но и проведения масштабных экологических исследований, разработки программ мониторинга, а также ак-

тивного взаимодействия с местным населением и природоохранными организациями. Примерами служат организация заповедников, разработка маршрутов полетов, минимизирующих воздействие на дикую природу, и стратегии, направленные на поддержку местных сообществ.

В условиях расширения нефтедобычи на территориях с высокой экологической ценностью, совместное использование территорий и минимизация воздействия на окружающую среду становятся ключевыми приоритетами. Успешная реализация проектов в таких регионах требует тщательного планирования, внедрения наилучших доступных технологий и постоянного контроля за состоянием окружающей среды, чтобы обеспечить устойчивое развитие и сохранить природное наследие для будущих поколений.

Сведения об авторском вкладе

С.А. Чайкин – формирование структуры обзора, подбор и систематизация литературных источников, написание основных разделов статьи.

А.С. Бузмаков – подбор и анализ источников, обобщение данных, формулирование заключения.

В.Э. Симонов – дополнение основных разделов статьи, подбор и проверка достоверности цитируемых источников, оформление в соответствии с требованиями журнала.

Contribution of the authors

S.A. Chaikin - forming the structure of the review, selection and systematisation of literature sources, writing the main sections of the article.

A.S. Buzmakov - selection and analysis of sources, summarising data, formulating the conclusion.

V.E. Simonov - completion of the main sections of the article, selection and validation of cited sources, design in accordance with the requirements of the journal.

Список источников

1. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Некоторые аспекты экологии рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

2. Бачурин Б.А. Подземные ядерные взрывы в районах нефтедобычи Пермского Прикамья: Радиоэкологические аспекты // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: материалы Международного симпозиума. Екатеринбург, 1997 г. С. 420-427.

3. Безродный Ю.Г. Концепция малоотходной технологии строительства скважин и ее практическая реализация на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье // Нефтегазовые технологии. 2000. № 4. С. 7-10.

4. Безродный Ю.Г. Обеспечение экологической безопасности поисков залежей углеводородов в левобережной части Волгоградской области // Нефтяное хозяйство. 2006. № 6. С. 126-131.

5. Безродный Ю.Г. Особенности обеспечения охраны окружающей среды при проектировании и строительстве скважин на территориях с ограничен-

ным режимом природопользования // *Охрана окружающей среды и промышленная безопасность на объектах нефтегазового комплекса: тезисы докладов конференции*. Москва, 2009 г. С. 18-20.

6. Безродный Ю.Г., Акимов А.А., Глоzman С.М. Проектирование и строительство скв.1 на площади Черная Падина вблизи особо охраняемой природной территории. // *Нефтяное хозяйство*. 1999. № 8. С. 50–52.

7. Безродный Ю.Г., Глоzman С.М. Результаты комплексного экологического сопровождения бурения скважины 1 Черная Падина // *Нефтяное хозяйство*. 2001. № 6. С. 82–85.

8. Борисов В.А. Вопросы классификации заповедных территорий (с учетом зарубежного опыта) // *Научные основы охраны природы: сборник научных трудов*. Вып. 2. Москва, 1973 г. С. 342–352.

9. Бузмаков С.А. Геоэкологические закономерности техногенной трансформации наземных экосистем под воздействием эксплуатации месторождений нефти: дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.36. Пермь, 2005. 405 с.

10. Бузмаков С.А. Геоэкологический способ разработки нормативов предельно допустимого содержания нефтепродуктов в почвах: Свидетельство о регистрации интеллектуального продукта № 7320030012 от 30.10.2003. М.: ВНИИЦ, 2003.

11. Бузмаков С.А. Закономерности техногенной трансформации наземных экосистем // *Антропогенная динамика природной среды: материалы международной научно-практической конференции*. Пермь, 16-20 октября 2006 г. / отв. ред. П.Г. Богатырев. 2006. С. 14–18.

12. Бузмаков С.А. Классификация техногенной трансформации наземных экосистем на территории нефтепромыслов // *Современные глобальные и региональные изменения геосистем: мат. Всерос. науч. конф., посвященной 200-летию Казанского университета*. Казань, 2004 г. С. 137–138.

13. Бузмаков С.А. Экспериментальное определение основных фаз техногенной трансформации экосистемы // *Вестник пермского университета*. Серия Биология. 2004. № 2. С. 133-138.

14. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., Дзюба Е.А., Шестаков И.Е., Хотяновская Ю.В. Разработка экологических критериев для допустимого содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 9. С. 62-67. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-62-67>

15. Бузмаков С.А., Башин Г.П. Предельно допустимое содержание нефтепродуктов в почвенных экосистемах Пермской области // *Известия вузов. Нефть и газ*. 2004. № 2. С. 91-96.

16. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. Ун-та, 2003. 171 с.

17. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С., Игошева Е.А., Абдулманова И.Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации

нефтяного месторождения // *Записки Горного института*. 2023. Т. 260. С. 180-193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22>

18. Бурение в условиях морского заповедника (Caught between two 15000-year-old coral reefs? / (ed.) Tubb M.) // *Ocean Industry*. 1992. № 1. С. 8.

19. Быков В.Н. Экология недропользования. Пермь: ПГУ, ПГПУ, 2000. 372 с.

20. Гагаев Ю.К., Карпюк М.И., Туркина Г.И. Экологические приоритеты в защите акватории северного Каспия от аварийных разливов нефти // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2003. № 7. С.18-24.

21. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Изд-во МГУ, 1988. 328 с.

22. Голик В.И., Мартынов В.Г., Комащенко В.И. Экологические, экономические и правовые аспекты разработки месторождений полезных ископаемых. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. 281 с.

23. Гулько Н.Н. Новый подход к разработке месторождений, находящихся в природоохранных зонах // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2001. № 1. С. 13-14.

24. Двинских С.А., Бельтюков Г.В. Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Иркутск: Изд-во Иркут. Ун-та, 1992. 245 с.

25. Двуреченская Е.Б. Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири // *Региональные геосистемы*. 2021. Т. 45. № 4. С. 576-589. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589>

26. Ельников В.В., Куциль О.В. Деятельность ООО «Севергазпром» на территории национального парка «Югыд Ва» // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2005. № 9. С. 51-54.

27. Исаченко А.Г. Принципы классификации ландшафтов по их устойчивости к антропогенным воздействиям // *География и окружающая среда = Geography and the Environment*. М.: ГЕОС, 2000. С. 41–50.

28. Кабинзянова А.О., Дзюба Е.А., Симонов В.Э. Оценка техногенной трансформации природной среды в зоне влияния добычи нефти методами биотестирования и биоиндикации // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2024. Т. 20. № 4. С. 125-135.

29. Кожевникова М.В. Исследование трансформации грунтовых вод в зоне воздействия нефтепромыслов // *Записки горного института*. 2007. Т. 170. № 1. С 111-114.

30. Костарев С.М., Чайкин С.А., Морозов М.Г. Организация и проведение геоэкологических исследований при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных залежей на территориях с особыми условиями природопользования // *Нефтегазовое дело*. 2006. С. 1-19.

31. Мячина К.В., Чибилева А.А. Геоэкологическое районирование нефтегазодобывающей территории Оренбургской Области // *Поволжский экологический журнал*. 2005. № 2. С. 157-157.

32. Назаров Н.Н. Физико-географическое районирование Пермского Прикамья // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. 1998. С. 12-21.
33. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. Ун-та, 1997. 252 с.
34. Охрана окружающей среды при сооружении магистральных трубопроводов на Аляске // НТО. Серия: Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений. Москва, 59 с.
35. Паффенгольц К.Н. Геологический словарь. М.: Изд-во: Недра, 1978. 487 с.
36. Петрищев В.П., Мячина К.В., Чибилёв А.А., Краснов Е.В. Особенности формирования и принципы функционирования техногосистем нефтегазовых месторождений // География и природные ресурсы. 2021. № 1 С. 16-24. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210102>
37. Печеркин М.Ф., Беспалова Т.Л. Особые условия разработки Тальниковского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2002. № 10. С. 78-80.
38. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 206 с.
39. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.
40. Решетняк Е.М., Григорьева Н.В. Природоохранная концепция компании «ЛУКОЙЛ» при освоении месторождений нефти и газа на Каспийском шельфе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2001. № 3-4. С. 14-23.
41. Сербина Е.В. Геоэкология и нефтегазоносность Среднего Каспия // Геология, бурение и разработка нефтяных месторождений Прикаспия и Каспийского моря: сборник статей ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоград-НИИП Иморнефть». 2003. С. 167-175.
42. Симонов В.Э., Леконцева Т.А. Технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов: обзор патентов // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. Т. 10. № 2. С. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81>
43. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
44. Солодовников А.Ю., Ивачев И.В., Хатту А.А., Соромотин А.М. Этно-социальные и эколого-технологические особенности освоения Тянского месторождения ОАО «Сургутнефтегаз» // Нефтяное хозяйство, 2002. № 8. С.125-129.
45. Шепель А.И. Хищные птицы и совы Пермского Прикамья. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. 296 с.
46. Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. Пермь, 1963. 91 с.
47. Шрам В.Г., Безбородов Ю.Н., Ковалева М.А., Шупранов Д.А., Агафонов Е.Д., Гуров Н.А., Лысянникова Н.Н., Кравцова Е.Г., Шариембиев Ж.С. Аспекты нормативно-правового регулирования в области экологического контроля объектов нефтяной промышленности Красноярского края // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 8. С. 65-71.
48. Яндулова Р.Б. Сохранение историко-культурного наследия в Нижневартовском районе // Проблемы экологической безопасности нефтегазового комплекса Среднего Приобья и эколого-экономическое сбалансированное развитие Ханты-Мансийского автономного округа: избр. науч.-практ. материалы 11 рег. совещ. Нижневартовск, 2001 г. С. 94-96.
49. Alavi E., Tajadod G., Jafari Marandi S., Arbabian S. Vicia faba seed: a bioindicator of phytotoxicity, genotoxicity, and cytotoxicity of light crude oil // Environmental science and pollution research. 2023. Vol. 30. Iss. 8. P. 21043-21051. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23244-w>
50. Bingari H.S., Gibson A., Teeuw R. Sorption modeling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index // Geoderma. 2024. Iss. 447. Article number 116935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116935>
51. Buzmakov S.A., Khotyanovskaya Y.V. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // Applied geochemistry. 2020. Iss. 13. P. 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
52. Chugunova M.V., Bakina L.G., Mayachkina N.V., Polyak Yu.M., Gerasimov A.O. Features of the processes of detoxification and self-restoration of oil-contaminated soils – a field study // Journal of soils and sediments. 2022. Iss. 12. P. 52-59. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03272-2>
53. Fang X., Zhang M., Zheng P., Wang H., Wang K., Lv Ju., Shi F. Biochar-bacteria-plant combined potential for remediation of oil-contaminated soil // Frontiers in microbiology. 2024. Iss. 15. P. 67-73. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1343366>
54. Haghighi A., Eslami A., Nobahar M. Various approaches for assessment of crude oil mixed soil behavior using cone penetration test records // Transportation infrastructure geotechnology. 2025. Vol. 12. Iss. 1. Article number 24. <https://doi.org/10.1007/s40515-024-00484-6>
55. Li G., Wang L., Zhen Q., Zheng J. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil // Journal of hydrology. 2024. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131990>
56. Ma Yu., Liu H., Zhu L., Xie Yi., Ren Ch., Mo X., Liu X., Liang Ch., Deng G., Yao Sh., Qin Ch. Insight into the thermal washing mechanism of sodium lignosulfonate alkyl/sodium persulfate compound on oily sludge // International journal of molecular sciences. 2024. Iss. 23. P. 58-67. <https://doi.org/10.3390/ijms252312542>
57. Mokhtarzadeh Z., Keshavarzi B., Moore F., Marsan F.A., Padoan E. Potentially toxic elements in the middle east oldest oil refinery zone soils: source apportionment, speciation, bioaccessibility and human health risk assessment // Environmental science and pollution research. 2020. Iss. 32. P. 49-56. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09895-7>
58. Mokrani S., Houali K., Yadav K.K., Arabi A.A., Eltayeb L.B., Awjanalreshidi M., Benguerba Ya., Cabral-Pinto M.M., Nabti E.H. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms, and technologies – a comprehensive review // Ecological engineering. 2024. Iss. 207. P. 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
59. Patowary R., Devi A., Mukherjee A.K. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study // Environmental science and pollution research.

2023. Iss. 30. P. 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>

60. Zhao Sh., Yuan X.T., Wang X.H., Ai Ya.Ju., Li Fu.P. Research progress and hotspots in microbial remediation for polluted soils // Sustainability. 2024. № 17. P. 169-175. <https://doi.org/10.3390/su16177458>

References

1. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Some aspects of the ecology of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 48-57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57> (in Russian).
2. Bachurin, B., 1997. *Underground nuclear explosions in the oil production areas of Perm Prikamye: Radioecological aspects. In: Problems of safety in the exploitation of mineral deposits in the zones of urban-industrial agglomerations: Materials of the International Symposium, Yekaterinburg, pp. 420-427. (in Russian).*
3. Bezrodnyj, Yu., 2000. Konceptiya malootodnoj tehnologii stroitelstva skvazhin i ee prakticheskaya realizatsiya na Severnom Kavkaze i v Nizhnem Povolzhe [The concept of low-waste well construction technology and its practical implementation in the North Caucasus and Lower Volga region]. *Neftgazovye tehnologii*. (4), pp. 7-10. (in Russian)
4. Bezrodnyj, Yu., 2006. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti poiskov zalezhej uglevodorodov v levoberezhnoj chasti Volgogradskoj oblasti [Ensuring environmental safety of hydrocarbon prospecting in the left-bank part of Volgograd Oblast]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (6), pp. 126-131. (in Russian)
5. Bezrodny, Yu., 2009. *Features of environmental protection in the design and construction of wells in the territories with a limited regime of natural resources. In: Environmental protection and industrial safety at the objects of oil and gas complex: Theses of conference reports, Moscow, pp. 18-20. (in Russian)*
6. Bezrodnyj, Yu., Akimova, A. and Glozman, S., 1999. Proektirovanie i stroitelstvo skv.1 na ploshadi Chernaya Padina vblizi osobo ohranyaemoj prirodnoj territorii [Design and construction of well 1 at Chernaya Padina near the specially protected natural area]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (8), pp. 50-52. (in Russian)
7. Bezrodnyj, Yu. and Glozman, S., 2001. Rezultaty kompleksnogo ekologicheskogo soprovozhdeniya bureniya skvazhiny 1 Chernaya Padina [Results of integrated environmental support of drilling well 1 Chernaya Padina]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (6), pp. 82-85. (in Russian)
8. Borisov, V., 1973. *Voprosy klassifikatsii zapovednykh territorij (s ucheto zarubezhnogo opyta) [Summary of international and national classifications, protected areas]. In: Scientific foundations of nature conservation: Collection of scientific papers. Iss. 2. Moscow, pp. 342-352.*
9. Buzmakov, S., 2005. *Geoekologicheskoe zakonornosti tehnogennoj transformatsii nazemnykh ekosistem pod vozdejstviem ekspluatatsii mestorozhdenij nefti [Geo-ecological regularities of technogenic transformation of terrestrial ecosystems under the impact of oil field exploitation]. Dr. geo sci. diss. Perm, 405 p.*
10. Buzmakov, S., 2003. *Geoekologicheskij sposob razrabotki normativov predelno dopustimogo soderzhaniya nefteproduktov v pochvah [Geo-ecological method of development of norms of maximum permissible content of petroleum products in soils]: Svidetelstvo o registratsii intellektualnogo produkta №7320030012 at 30.10.2003.*
11. Buzmakov, S., 2006. *Laws of technogenic transformation of terrestrial ecosystems. In: Anthropogenic dynamics of the natural environment: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 16-20 October, 2006, Perm, Russia, pp. 14-18. (in Russian)*
12. Buzmakov, S., 2004. *Classification of technogenic transformation of terrestrial ecosystems on the territory of oil fields. In: Modern global and regional changes in geosystems: Math. All-Russian scientific conference devoted to the 200th anniversary of Kazan University. Kazan, pp. 137-138. (in Russian)*
13. Buzmakov, S., 2004. Eksperimentalnoe opredelenie osnovnykh faz tehnogennoj transformatsii ekosistemy [Experimental determination of the main phases of technogenic ecosystem transformation]. *Bulletin of Perm University. Biology*. (2), pp. 133-138. (in Russian)
14. Buzmakov, S., Andreev, D., Nazarov, A., Dzyuba, E., Shestakov, I. and Khotyanovskaya, Yu., 2021. Development of Environmental Criteria for the Permissible Content of Oil and Products of its Transformation in the Soils of the Perm Region. *Ecology and Industry of Russia*, 25(9), pp. 62-67. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-62-67> (in Russian)
15. Buzmakov, S. and Bashin, G., 2004. Predelno dopustimoe soderzhanie nefteproduktov v pochvennykh ekosistemah Permskoj oblasti [Maximum permissible content of petroleum products in soil ecosystems of the Perm region]. *Izvestiya vuzov. Neft i gaz*. (2), pp. 91-96. (in Russian)
16. Buzmakov, S. and Kostarev, S., 2003 *Tehnogennye izmeneniya komponentov prirodnoj sredy v nefte dobyvayushih rajonah Permskoj oblasti [Technogenic changes of natural environment components in oil-producing areas of Perm region]. Perm, Izd-vo Perm. Un-ta. 171 p. (in Russian)*
17. Buzmakov, S., Sannikov, P., Kuchin, L., Igoshcheva, E. and Abdulmanova, I., 2023. The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation. *Journal of Mining Institute*, 260, pp. 180-193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22> (in Russian)
18. *Burenie v usloviyah morskogo zapovednika [Drilling in a marine reserve / (ed.) Tubb M.]. Caught between two 15000-year-old coral reefs? Ocean Industry. 1992. 27 (1). 8 p. (in Russian)*
19. Bykov, V., 2000. *Ekologiya nedropolzovaniya [Ecology of subsoil use]. Perm: PSU, PSPU. 372 p. (in Russian)*
20. Gagaev, Yu., Karpyuk, M. and Turkina, G., 2003. *Ekologicheskie prioritety v zashite akvatorii severnogo Kaspiya ot avariynih razlivov nefti [Environmental priorities in protecting the northern Caspian Sea from oil spills]. Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse. (7), pp. 18-24. (in Russian)*
21. Glazovskaya, M., 1988. *Geokhimiya prirodnykh i tehnogennykh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and anthropogenic landscapes of the USSR]. M., MGU. 328 p. (in Russian)*

22. Golik, V., Martynov, V. and Komashenko, V., 2012. *Ekologicheskie, ekonomicheskie i pravovye aspekty razrabotki mestorozhdenij poleznykh iskopayemykh* [Ecological, economic and legal aspects of the development of mineral deposits]. M., RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina. 281 p. (in Russian)
23. Gulko, N., 2001. Novyy podhod k razrabotke mestorozhdenij, nahodyashihsya v prirodoohrannnykh zonakh [A new approach to the development of fields located in protected areas]. *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (1), pp. 13-14. (in Russian)
24. Dvinskih, S. and Beltyukov, G., 1992. Vozmozhnosti ispolzovaniya sistemnogo podhoda v izuchenii geograficheskikh prostranstvenno-vremennykh obrazovaniy [Possibilities of using a systems approach in the study of geographical spatio-temporal entities]. Irkutsk, Irkut. Un-t. 245 p. (in Russian)
25. Dvurechenskaya, E., 2021. Opyt polevogo eksperimentalnogo modelirovaniya vozdejstviya razlivov nefti i vysokomineralizovannykh vod v srednej tajge Zapadnoj Sibiri [Experience of field experimental modeling of the impact of oil spills and highly mineralized water in the middle taiga of Western Siberia]. *Regionalnye geosistemy*. 45(4), pp. 576-589. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589> (in Russian)
26. Elnikov, V. and Kucil, O., 2005. Deyatel'nost' OOO "Severgazprom" na territorii nacionalnogo parka "Yugyd Va" [Activities of Severgazprom in the Yugyd Va National Park] *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (9), pp. 51-54. (in Russian)
27. Isachenko, A., 2000. *Principy klassifikatsii landshaftov po ih ustojchivosti k antropogennym vozdejstviyam* [Principles of classifying landscapes according to their resistance to anthropogenic impacts]. *Geography and the Environment*. M., GEOS. 492 p. (in Russian)
28. Kabipzyanova, A., Dzyuba, E. and Simonov, V., 2024. Ocenka tehnogennoj transformatsii prirodnoj sredy v zone vliyaniya dobychi nefti metodami biotestirovaniya i bioindikatsii [Assessment of technogenic transformation of the natural environment in the zone of influence of oil production using biotesting and bioindication methods]. *Ekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 20(4), pp. 125-135. (in Russian)
29. Kozhevnikova, M., 2007. Issledovanie transformatsii gruntovykh vod v zone vozdejstviya neftepromyslov [Investigation of groundwater transformation in the zone of oilfields impact]. *Journal of Mining Institute*. 170, pp. 111-114. (in Russian)
30. Kostarev, S., Chajkin, S. and Morozov, M., 2006. Organizatsiya i provedenie geoekologicheskikh issledovaniy pri poiskakh, razvedke i ekspluatatsii neftyanykh zalezhej na territoriyah s osobymi usloviyami prirodopolzovaniya [Organization and carrying out of geo-ecological researches at search, exploration and exploitation of oil deposits on the territories with special conditions of nature use]. *Neftegazovoe delo*, pp. 1-19. (in Russian)
31. Myachina, K. and Chibileva, A., 2005. Geoekologicheskoe rajonirovanie neftegazonosnoj territorii Orenburgskoj Oblasti [Ecological zoning of the oil and gas bearing territory of the Orenburg Oblast]. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal*. (2), pp. 157-157. (in Russian)
32. Nazarov, N., 1998. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Permskogo Prikamya [Physical-geographical zoning of the Perm Prikamye]. *Voprosy fizicheskoy geografii i geoekologii Urala*, pp. 12-21. (in Russian)
33. Ovesnov, S., 1997. *Konspekt flory Permskoj oblasti* [Prospectus of the flora of the Perm region]. Perm, Izd-vo Perm. Un-ta. 252 p.
34. *Ohrana okruzhayushej sredy pri sooruzhenii magistralnykh truboprovodov na Alyaske* [Environmental protection during construction of trunk pipelines in Alaska]. NTO. Seriya: Proektirovanie i stroitel'stvo truboprovodov i gazoneftepromyslovyykh sooruzhenij. Moscow, 59 p.
35. Paffengolc, K., 1978. *Geologicheskij slovar* [Geological Dictionary]. M., Nedra. 487 p. (in Russian)
36. Petrishchev, V., Myachina, K., Chibilyov, A. and Krasnov, E., 2021. Features of formation and principles of functioning of technogeosystems of oil and gas fields. *Geography and Natural Resources*, (1), pp. 16-24. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210102> (in Russian)
37. Pecherkin, M. and Bespalova, T., 2002. Osobyie usloviya razrabotki Talnikovskogo mestorozhdeniya [Special conditions for the development of the Talnikovskoye field]. *Neftyanoe hozyajstvo*. (10), pp. 78-80. (in Russian)
38. Pikovskij, Yu., 1993. Prirodnye i tehnogennyye potoki uglevodorodov v okruzhayushej srede [Natural and anthropogenic hydrocarbon fluxes in the environment]. M., MGU. 206 p. (in Russian)
39. Rejmers, N. and Shtilmark, F., 1978. *Osobo ohranyaemye prirodnye territorii* [Protected areas]. Moscow, Mysl. 295 p. (in Russian)
40. Reshetnyak, E. and Grigoreva, N., 2001. Prirodnoohrannnaya koncepciya kompanii «LUKOIL» pri osvoenii mestorozhdenij nefti i gaza na Kaspijskom shelfe [LUKOIL's environmental concept for oil and gas field development on the Caspian shelf]. *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (3-4), pp. 14-23. (in Russian)
41. Serbina, E., 2003. *Geocology and oil and gas content of the Middle Caspian*. In: *Geology, drilling and development of oil fields in the Caspian and Caspian Sea: Collection of Articles*, pp. 167-175. (in Russian)
42. Simonov, V. and Lekontseva, T., 2024. Bioremediation technologies of oil-contaminated soils and sub-soils: patent review. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 10(2), pp. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81> (in Russian)
43. Solnceva, N., 1998. *Dobycha nefti i geokhimiya prirodnykh landshaftov* [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. M., MGU. 376 p. (in Russian)
44. Solodovnikov, A., Ivachev, I., Hattu, A. and Soromotin, A., 2002. Etno-socialnye i ekologo-tehnologicheskie osobennosti osvoeniya Tyanskogo mestorozhdeniya OAO «Surgutneftegaz» [Ethno-social and environmental-technological peculiarities of development of the Tyanskoye field of Surgutneftegaz OJSC]. *Neftyanoe hozyajstvo*. (8), pp. 125-129. (in Russian)
45. Shepel, A., 1992. *Hishnye pticy i sovy Permskogo Prikamya* [Birds of prey and owls of the Permian Kama region]. Irkutsk, Irkut. un-t. 296 p. (in Russian)
46. Shklyayev, A. and Balkov, V., 1963. *Klimat Permskoj oblasti* [Climate of the Perm region]. Perm. 91 p. (in Russian)

47. Shram, V., Bezborodov, Yu., Kovaleva, M., Shupranov, D., Agafonov, E., Gurov, N., Lysyannikova, N., Kravtsova, E. and Sharshembiev, Zh., 2023. Regulatory and Legal Aspects of Environmental Supervision of Oil Facilities in the Krasnoyarsk Territory. *Ecology and Industry of Russia*, 27(8), pp. 65-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-8-65-71> (in Russian)
48. Yandulova, R.B. Preservation of historical and cultural heritage in Nizhnevartovsk district. In: *Problems of environmental safety of oil and gas complex of the Middle Priobie and ecological and economic balanced development of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug: izbr. nauch.-prakt. materials of the 11th reg. sovesh. Nizhnevartovsk, 2001. pp. 94-96. (in Russian)*
49. Alavi, E., Tajadod, G., Jafari Marandi, S. and Arbabian, S., 2023. Vicia faba seed: a bioindicator of phytotoxicity, genotoxicity, and cytotoxicity of light crude oil. *Environmental science and pollution research*, 30(8), pp. 21043-21051. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23244-w>
50. Bingari, H., Gibson, A. and Teeuw, R., 2024. Sorption modelling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index. *Geoderma*, (447). Article number 116935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116935>
51. Buzmakov, S. and Khotyanovskaya, Y., 2020. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation. *Applied geochemistry*, (13), pp. 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
52. Chugunova, M., Bakina, L., Mayachkina, N., Polyak, Yu. and Gerasimov, A., 2022. Features of the processes of detoxification and self-restoration of oil-contaminated soils – a field study. *Journal of soils and sediments*, (12), pp. 52-59. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03272-2>
53. Fang, X., Zhang, M., Zheng, P., Wang, H., Wang, K., Lv, Ju. and Shi, F., 2024. Biochar-bacteria-plant combined potential for remediation of oil-contaminated soil. *Frontiers in microbiology*, (15), pp. 67-73. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1343366>
54. Hagh, A., Eslami, A. and Nobahar, M., 2025. Various approaches for assessment of crude oil mixed soil behavior using cone penetration test records. *Transportation infrastructure geotechnology*, (1). Article number 24. <https://doi.org/10.1007/s40515-024-00484-6>
55. Li, G., Wang, L., Zhen, Q. and Zheng, J., 2024. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil. *Journal of hydrology*, (643), pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131990>
56. Ma, Yu., Liu, H., Zhu, L., Xie, Yi., Ren, Ch., Mo, X., Liu, X., Liang, Ch., Deng, G., Yao, Sh. and Qin, Ch., 2024. Insight into the thermal washing mechanism of sodium lignosulfonate alkyl/sodium persulfate compound on oily sludge. *International journal of molecular sciences*, 25(23), pp. 58-67. <https://doi.org/10.3390/ijms252312542>
57. Mokhtarzadeh, Z., Keshavarzi, B., Moore, F., Marsan, F. and Padoan, E., 2020. Potentially toxic elements in the middle east oldest oil refinery zone soils: source apportionment, speciation, bioaccessibility and human health risk assessment. *Environmental science and pollution research*, (32), pp. 49-56. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09895-7>
58. Mokrani, S., Houali, K., Yadav, K., Arabi, A., Eltayeb, L., Awjanalreshidi, M., Benguerba, Ya., Cabral-Pinto, M. and Nabti, E., 2024. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms, and technologies – a comprehensive review. *Ecological engineering*, (207), pp. 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
59. Patowary, R., Devi, A. and Mukherjee, A., 2023. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study // *Environmental science and pollution research*, (30), pp. 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>
60. Zhao, Sh., Yuan, X., Wang, X., Ai, Ya. and Li, Fu., 2024. Research progress and hotspots in microbial remediation for polluted soils. *Sustainability*, 16(17), pp. 169-175. <https://doi.org/10.3390/su16177458>

Статья поступила в редакцию 21.04.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 16.05.2025.

The article was submitted 21.04.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 16.05.2025.