

МЯЧИНА Ксения Викторовна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЛАНДШАФТОВ
СТЕПНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ
НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Оренбург – 2021

Работа выполнена в Институте степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ УрО РАН)

Научные консультанты: **Чибилёв Александр Александрович**, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Институт степи УрО РАН
Краснов Евгений Васильевич, доктор геолого – минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

Официальные оппоненты: **Бармин Александр Николаевич**, доктор географических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», геолого- географический факультет, декан
Кочуров Борис Иванович, доктор географических наук, профессор, ФГБУН Институт географии РАН, отдел физической географии и проблем природопользования, ведущий научный сотрудник
Макаров Владимир Зиновьевич, доктор географических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», кафедра физической географии и ландшафтной экологии, заведующий

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Защита состоится **30 июня 2021 г. в 13.00** на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.228.03 при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» по адресу: 346051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 346051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя секретаря ученого совета Д 999.228.03 З.Ш. Гагаевой.

E-mail: geodissovet@mail.ru; тел./факс 8(8712)223607.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/, vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



З.Ш. Гагаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Длительное и широкомасштабное освоение природных ресурсов степных зон Евразии и Северной Америки, усилившееся во второй половине XX в., привело к обострению геоэкологических проблем во многих регионах и странах, включая Россию (Мордкович и др., 1997; Чибилёв, 1998, 2014; Николаев, 1999; Тишков, 2005, 2010; Левыкин и др., 2008; Shaw и др., 2005; Reynolds и др., 2007 и др.). Современные степные ландшафты, занимающие 35% земной поверхности и обеспечивающие 20% ее биоразнообразия (Mainguet, 1991), в результате агропромышленного использования земель более чем наполовину оказались подвержены ветровой и водной эрозии, химическому загрязнению и другим негативным процессам. Рост добычи нефти и газа обозначил глобализацию проблемы опустынивания планетарной совокупности специфически трансформированных степных ландшафтов. Наложение процессов нефтегазодобычи на зоны аграрного природопользования привело к формированию опасных для уникальных степных геосистем источников техногенного воздействия.

В степной зоне ведется разработка сотен действующих и разведка новых нефтегазовых месторождений, и нет оснований полагать, что ситуация кардинально изменится в обозримом будущем. Добыча углеводородного сырья продолжает играть существенную роль в мировой экономике (Прогноз научно-технологического развития..., 2016). Несмотря на активный поиск и внедрение возобновляемых источников энергии, их роль в энергообеспечении, по прогнозам, к 2040 году вырастет лишь на 4% – с 12 до 16 (OGJ, 2016; Sieminski, 2016; Duscha и др., 2016). Незначительный рост объясняется проблематичным достижением необходимой мощности возобновляемых источников энергии. Известно, что производство требуемых человечеству объемов энергии могут обеспечить либо атомная энергетика, но ее массовое применение сопряжено с известными проблемами, либо традиционные невозобновляемые источники энергии – нефть, газ, уголь (Горин и др., 2019).

В нефтегазодобывающих районах Волго-Уральского степного региона повсеместно происходят процессы трансформации естественных ландшафтов, изменения биоразнообразия, потери функций водных объектов, ухудшения локальных гидрометеорологических параметров. Все это указывает на необходимость применения системного подхода к решению возникающих проблем, которые приводят к дисбалансу в социально-эколого-экономических процессах нефтегазоносных районов, ухудшению качества жизни населения, геодемографической обстановки и др. Взаимовлияние нефтегазодобывающего и сельскохозяйственного производств выдвигаются в ряд важнейших проблем современности.

Степень разработанности проблемы. Теоретико-методологические основы геоэкологического анализа разрабатывали В.С. Преображенский, В.Б. Сочава, К.М. Петров, А.М. Трофимов и др.

Наибольшее внимание проблемам оптимизации ландшафтов степной зоны уделяли В.В. Докучаев, Ф.Н. Мильков, А.Г. Исаченко, А.А. Чибилёв и др.

Различные факторы воздействия нефтегазодобычи на ландшафты Предуралья, Сибири и Крайнего Севера исследовали В.В. Козин, В.И. Булатов, Ю.М. Семёнов, А.В. Соромотин, Д.В. Московченко, Ф.Н. Юдахин, А.А. Васильев, В.В. Иванов, К.И. Лопатин, С.А. Бузмаков и др. Геохимическую совместимость природных и антропогенных потоков веществ, энергии и информации при разработке нефтегазовых месторождений изучали М.А. Глазовская, Н.П. Солнцева, Ю.И. др. Региональную специфику нефтегазодобывающего природопользования в степной и лесостепной зонах России освещали А.Я. Гаев, А.М. Гареев, Ю.М. Нестеренко, А.В. Шакиров, за рубежом – I. Netalieva (Казахстан), Y. Liang (Китай), H.E. Copeland (США), N.F. Jones (США), S. M. Jordaan (Канада) и др.

Во многих работах предшественников, на фоне разнообразия методологии и методов геоэкологического анализа ландшафтов, преобладает компонентный подход, хотя в нефтегазоносных степных регионах сходство зональных природно-климатических условий обуславливает структурную инвариантность негативных последствий техногенного воздействия. Глубина и масштабы техногенных преобразований ландшафтов степей в условиях нефтегазодобывающего природопользования все еще остаются качественно и количественно недооцененными, что значительно затрудняет разработку действенных путей их оптимизации в условиях отраслевого природопользования.

Основная научная идея – экологизация степного природопользования в условиях нефтегазодобывающего производства.

Объект исследования – ландшафты Волго-Уральского степного региона и их отдаленных аналогов (Колорадо, США) в условиях разработки месторождений нефти и газа.

Предмет исследования – масштабы, тенденции и закономерности техногенной трансформации ландшафтов степной зоны, возможности их геоэкологической оптимизации.

Цель работы – разработка путей оптимизации ландшафтов степной зоны, трансформируемых разработкой месторождений нефти и газа.

Для достижения цели решены следующие **задачи**:

1. Обоснован теоретико-методологический подход, адекватный предмету исследования, к выбору объекта, понятийно-терминологической базы, методов геоэкологического анализа пространственно-временной динамики ландшафтов степной зоны в условиях разработки нефтегазовых месторождений (включая использование ГИС-технологий и доступных геоданных).

2. Определены геоэкологическая специфика и значимость сопряженного анализа трансформации степных ландшафтов Волго-Уральского региона и отдаленных аналогов (Колорадо, США).

3. Выделена группа наиболее репрезентативных индикаторов трансформации степных ландшафтов межрегионального, регионального и локального уровней, характеризующих источники, структуру, масштабы и направления дестабилизации их геоэкологического состояния.

4. На основе сравнительного анализа региональных индикационных показателей компонентного и интегрального уровней составлена принципиальная схема ведущих факторов техногенной трансформации ландшафтов степной зоны.

5. Разработана структурно-динамическая модель природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, определены основные принципы и стадии ее формирования и развития.

6. На основе результатов геоэкологического анализа и моделирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения создана базовая платформа оптимизации ландшафтов степной зоны с использованием ревитализирующих, ресурсосберегающих и природосообразных технологий.

Методологическая основа и методы. В основе геоэкологического анализа – геосистемный и геоситуационный подходы, принципы полимасштабности, причинно-следственной связи явлений и процессов, концепция эквифинальности трансформационных процессов; методы картографирования, геоэкологического районирования, моделирования и прогнозирования; эмпирико-статистическая обработка данных, геоинформационный и сравнительно-исторический анализ. В качестве исходных материалов использовались данные полевых исследований на ключевых участках, данные дистанционного зондирования Земли, доступные наборы векторных и растровых карт специализированных интернет-сервисов ФАН Роснедра, ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, «Росреестр», федеральных органов государственной статистики, порталов правительства субъектов РФ, отчеты и прогнозы федеральных министерств Российской Федерации, материалы сайтов компаний – недропользователей и пр. Аналитическая обработка геоданных проводилась в программах ArcGIS, QGIS, ENVI, Fragstat, Global Mapper и др.

Научная новизна заключается в обосновании объекта, предмета исследования, системы принципов и концепций, методов геоэкологического анализа, выявлении пространственно-временных закономерностей трансформации ландшафтов степной зоны и путей их оптимизации.

Основные элементы научной новизны:

1. Расширен понятийно-терминологический аппарат исследования, введены новые понятия, позволяющие отразить специфику воздействия и геоэкологических последствий нефтегазодобычи («региональный геоэкологический анализ трансформации ландшафтов в условиях нефтегазодобычи», «эквифинальность процессов нефтегазодобычи», «природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения», «зона нефтяного геоэкологического наследия», «оптимизация ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи»).

2. Существующие подходы и методы регионального геоэкологического анализа адаптированы применительно к условиям ландшафтов степных нефтегазодобывающих регионов, с учетом их пространственно-временной динамики, широтно-зональных особенностей, интенсивности и направленности техногенных изменений.

3. Впервые выявлены полимасштабность и многофакторность трансформации нефтегазоносных ландшафтов Волго-Уральского степного региона и их аналогов в Северной

Америке, однотипных в широтно-зональном отношении; однонаправленность межрегиональных, региональных и характерных локальных последствий добычи нефти и газа, многоаспектность и сопряженность социально-экологических и социально-экономических процессов.

4. Выявлены и классифицированы конкретные проявления процессов техногенной трансформации степных ландшафтов в условиях разработки нефтегазовых месторождений. Разработан оригинальный метод идентификации нарушенных земель на основе зимних спутниковых изображений; рассчитаны и картографически отображены в пространственно-временных координатах соотношения нарушенных и сохранившихся земель на ключевых участках исследования, показатели фрагментации ландшафтов и активности эрозионных процессов, динамика температуры земной поверхности в зонах термического воздействия, результаты взаимодействия объектов нефтегазодобычи с сельскохозяйственными угодьями и пр.

5. С учетом эквивалентности проявления трансформационных процессов сформирована структурно-динамическая модель природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, представляющая последовательные стадии ее формирования и функционирования, значимые для проектирования оптимизационных действий по рекультивации и ревитализации ландшафтов.

6. Сформулированы концептуальные предложения по оптимизации степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи, разработаны блоки оптимизационных действий для каждого этапа функционирования природно-техногенной геосистемы месторождения, включающие геоэкологическое обоснование приоритетности ландшафтных местоположений объектов нефтегазопромысла, учет лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов, учет пространственно-временной дифференциации текущего и накопленного техногенного воздействия, определение порогового значения нарушенных земель в границах сельскохозяйственных угодий и пр.

Теоретическая и практическая значимость результатов.

Разработан алгоритм регионального геоэкологического анализа: методические приемы мониторинга, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений ландшафтов в условиях нефтегазодобычи, определен комплекс факторов, обусловивших специфику трансформации ландшафтов; выявлены наиболее масштабные и глубокие геоэкологические последствия, определены сценарии развития техногенных нарушений ландшафтов в связи с продолжающейся добычей нефти и газа; разработаны оптимизационные подходы и стратегии - выделены основные направления, принципы и критерии оптимизации ландшафтов, обоснована ее геоэкологическая концепция.

Получены принципиально новые данные о вариантах, структуре и закономерностях трансформации степных ландшафтов (увеличении доли нарушенных земель, степени фрагментации, тепловых и газохимических ареалах, развитии эрозионных процессов, изменении биоразнообразия, взаимодействии с пахотными угодьями и пр.).

Результаты исследования применялись при разработке экологического раздела проекта строительства трубопровода «Бобровская группа месторождений – Зайкинское газоперерабатывающее предприятие», при разработке биоэкологических основ оценки воздействия на окружающую среду в районах деятельности ОАО «Оренбургнефть»; при реализации международных проектов Института степи УрО РАН и Университета Северной Флориды (США). Результаты и методические разработки автора востребованы в образовательном процессе для подготовки и чтения курсов лекций по наукам о Земле в Оренбургском филиале Московского технологического института.

Результаты исследования могут быть использованы для развития ряда актуальных научных направлений – от решения проблем углеродного баланса, локальных и региональных климатических изменений до экологизации сопряженно функционирующих систем природопользования в степной зоне.

Личный вклад автора, достоверность результатов. Достоверность представленных результатов обеспечивается параллельным использованием независимых методов, а также многолетним опытом автора (2002-2020 гг.) в проведении полевых и камеральных исследований ландшафтов степной зоны на ключевых участках Волго-Уральского степного региона общей площадью более 1400 км², включающей 25 нефтегазовых месторождений, а также в степной нефтегазоносной части штата Колорадо (США), где площадь исследования превысила 2000 км². Непосредственные обследования местности и анализ геоданных выполнялись в ходе работ по государственным заданиям и конкурсным проектам Института степи УрО РАН, проектам РФФИ, международным интеграционным проектам. Положительные рецензии на публикации автором итогов работы в рецензируемых российских и международных изданиях также подтверждают достоверность полученных результатов.

Апробация и внедрение результатов. Основные итоги исследования обсуждались на более чем 30-ти российских и международных научных и научно-практических конференциях. Теоретические положения и практические рекомендации использованы при реализации проектов и программ УрО РАН, Президиума РАН №0421-215-0014, РФФИ №18-45-560001, №14-05-31467, №20-05-00122 и др., реализованных под руководством автора, а также в других проектах, в которых автор участвовала в качестве исполнителя.

Работа соответствует паспорту специальности 25.00.36 «Геоэкология»: п.1.9. Оценка состояния, изменений и управление современными ландшафтами; п.1.10. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение; п.1.17. Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

Публикации. Результаты исследования изложены в 93 публикациях, из них 28 – в изданиях, рекомендованных ВАК, в одной авторской и шести коллективных монографиях. В

изданиях, включенных в международные системы цитирования WoS и Scopus, опубликовано 10 статей, из них 5 – в зарубежных рецензируемых журналах.

Структура работы и объем. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (416 источников, в том числе 143 на иностранных языках). Общий объем – 276 страниц, включая 63 рисунка, 19 таблиц, 4 приложения.

Основные защищаемые положения

1. Концепция, понятийно-терминологическая база и алгоритм геоэкологического анализа современного состояния ландшафтов с использованием данных дистанционного зондирования, ГИС-технологий, картометрической визуализации и эмпирико-статистических расчетов, позволяющие раскрыть многофакторную специфику нефтегазодобывающего природопользования и широтно-зональные условия степного региона.

В условиях интенсивной и масштабной эксплуатации залежей нефти и газа использование геосистемного подхода с выделением обособленной природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения с последующим изучением присущих ей особенностей и выделением закономерностей формирования и развития – наиболее перспективно для целей мониторинга, анализа и разработки сценариев оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазового природопользования. В отличие от компонентного, геосистемный подход направлен на выявление интегральных пространственно-временных закономерностей трансформации вещества, энергии и информации в изучаемой геосистеме. На формирование отраслевых природно-техногенных геосистем в ходе нефтегазодобычи указывали В.И. Булатов (1972, 2018), К.Н. Дьяконов (1975), В.И. Федотов (1982), В.В. Козин (1984, 2013), Н.П. Солнцева (1998), А.В. Соромотин (2007) и др. Однако детальные исследования с использованием современных методов все еще единичны.

Согласно положениям геоситуационной концепции А.М. Трофимова (1993), состояние геосистем различных территориальных уровней в любой заданный момент времени можно представить в виде сложной динамической совокупности взаимосвязанных геоситуаций с отчетливо выраженной пространственной локализацией. Выразительная диффузно-очагово-линейная локализация характерна для объектов нефтегазопромысловой сети. В качестве геоситуаций рассматривается сочетание негативных и позитивных природных условий и факторов, создающих на территории геоэкологическую обстановку разной степени благополучия и неблагополучия (Кочуров, 2003).

Сопряженное использование геосистемного и геоситуационного подходов позволило оценить геоэкологическое состояние сложившихся в ходе нефтегазодобычи природно-техногенных геосистем и спрогнозировать их эволюцию на основе анализа причинно-следственных связей проявлений и эквивинальности трансформационных процессов. С их выявлением связана минимизация рисков в региональном природопользовании, приводящих

зачастую к деформации системно-динамических отношений в степном ландшафте и его техногенной трансформации, порой необратимой.

Вышеизложенные представления позволили разработать алгоритм геоэкологического анализа ландшафтов Волго-Уральского степного нефтегазоносного региона (рис. 1). Теоретико-методическая функция анализа обусловлена необходимостью формирования наиболее эффективной совокупности подходов и методов исследования для конкретного региона (района, месторождения) в заданных условиях природопользования. Управленческо-регулирующая функция подразумевает, что решения по оптимизации ландшафтов, рационализации природопользования, оздоровлению геоэкологической ситуации должны приниматься с учетом результатов геоэкологического анализа.

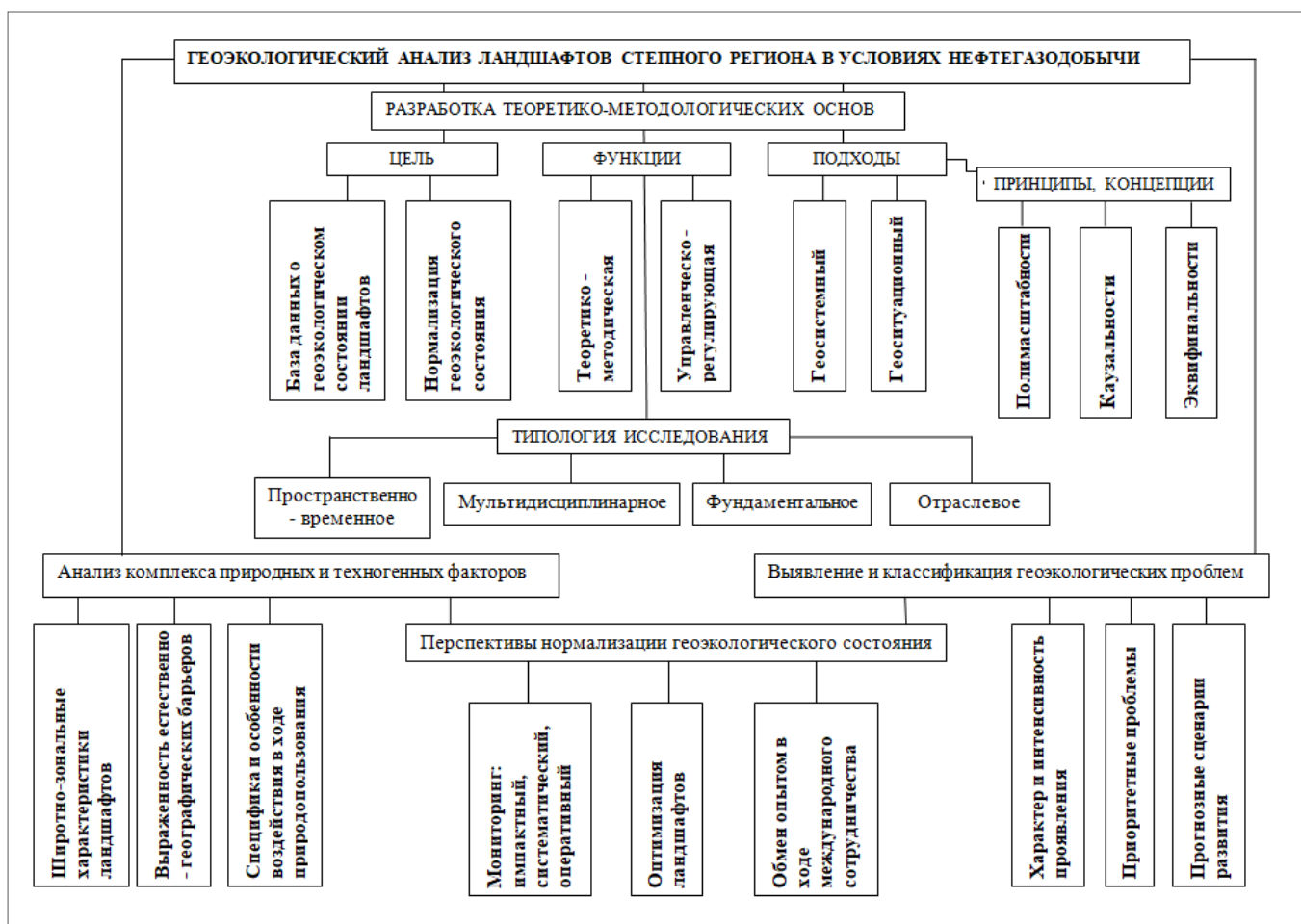


Рисунок 1 – Алгоритм геоэкологического анализа ландшафтов степного региона в условиях разработки месторождений нефти и газа (Мячина, 2020).

Основные тенденции в динамике трансформации ландшафтов степной зоны выделены на основе данных, полученных в ходе полевого и дистанционного обследования репрезентативной сети 15-ти ключевых участков: тринадцать из них расположены в областях Волго-Уральского степного региона, четырнадцатый – в лесостепной зоне Республики Татарстан (рис. 2), пятнадцатый участок исследования находится в степной части штата Колорадо (США).

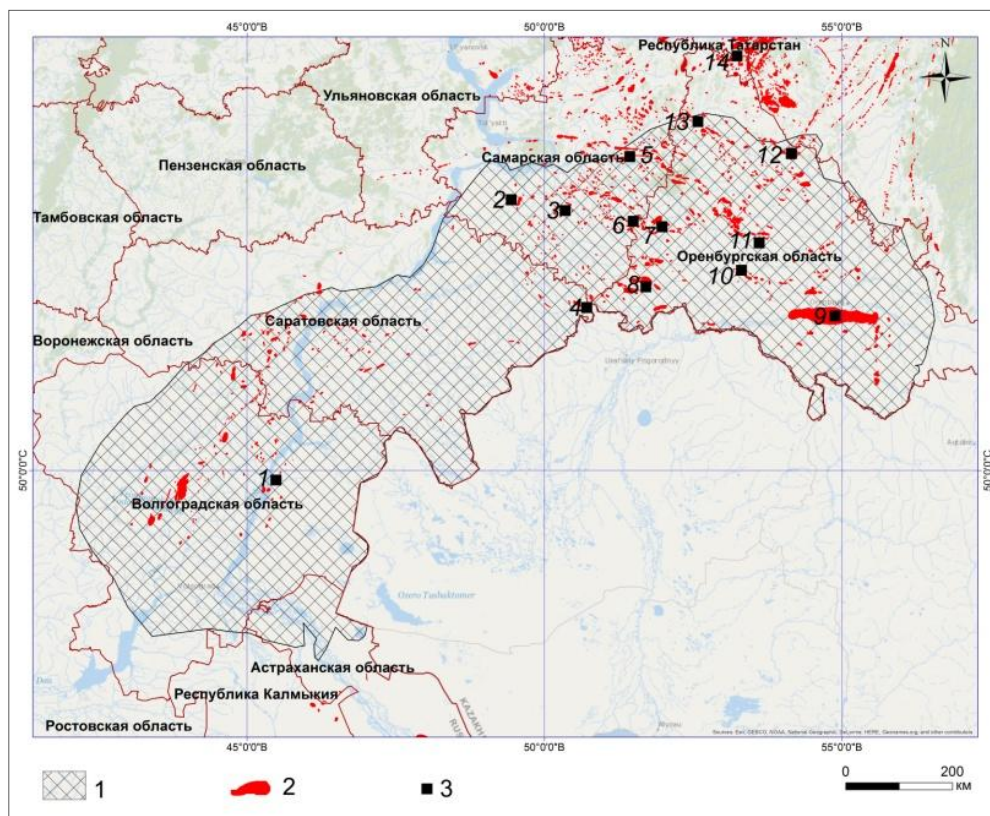


Рисунок 2 – Волго-Уральский степной регион: 1 – степная зона, 2 – ареалы нефтегазовых месторождений (по доступным данным Федерального агентства «Роснедра»), 3 – ключевые участки исследования №1 – Волгоградская обл., №2, №3 – Самарская обл., №4 – Саратовская обл., №5, №6 – Самарская обл., №7 – №13 – Оренбургская обл., №14 – Республика Татарстан.

2. Географическая полимасштабность техногенной трансформации степных ландшафтов под воздействием нефтегазодобычи, выявляемая с использованием атрибутивных, функциональных и иерархических критериев, включая разнообразие реакций ландшафта в диаде «воздействие – отклик» по интенсивности и длительности проявлений, а также по прямым и косвенным связям с социально-экономическими условиями жизни населения на региональном и муниципальном уровнях.

Первая сторона полимасштабности – взаимосвязанность расположения и сосуществования локального, субрегионального, регионального и более крупных уровней трансформации ландшафтов в зонах воздействия нефтегазодобывающего комплекса. Минимальный уровень ее проявления – скважина, воспринимаемая не только как точечный объект локализованного воздействия, но и как составная часть действующей системы скважин, нефтегазопроводов, пунктов сбора и первичной переработки добываемого сырья, которые, в свою очередь, являются составной частью нефтегазопромысла. Нефтегазопромыслы формируют инфраструктуру нефтегазоносных областей и провинций, ячейки этой сети разделены крупными зонами агропромышленного и других типов природопользования. Повышение иерархического уровня системы ведет к усложнению структуры, формы, содержания элементов и их отношений друг с другом, которые на нижних уровнях характеризуются большей детализацией и четкостью (рис. 3).

Генерализованная сеть ландшафтов, охваченных инфраструктурой нефтегазоносных зон, областей и провинций, представляет собой единую совокупность специфически трансформированных ландшафтов, включенных в систему мирового нефтегазодобывающего комплекса, развивающихся в каждый момент времени в определенных пространственно-временных границах.

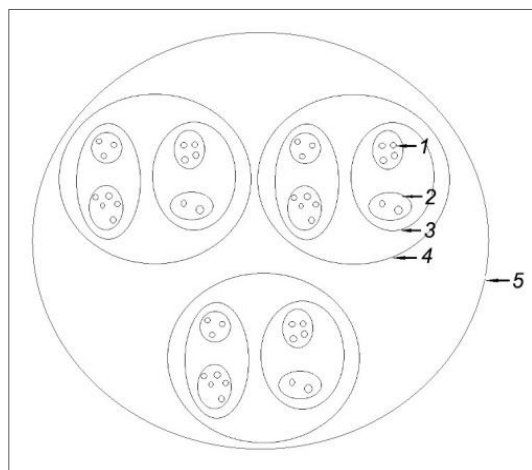


Рисунок 3 – Упрощенная иерархическая модель полимасштабной структуры трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса: 1 – микроуровень (скважина), 2 – мезоуровень (участок нефтегазопромысла), 3 – макроуровень (нефтегазопромysel), 4 – мегауровень (сеть нефтегазопромыслов нефтегазоносной провинции), 5 – метауровень (сеть нефтегазопромыслов нефтегазоносных провинций мира).

Полимасштабность структуры трансформированных ландшафтов позволяет распространить опыт, полученный на конкретных ключевых полигонах, до уровня регионов, стран и континентов, облегчая понимание ожидаемых эффектов, выявление уровня локализации геоэкологических проблем, поиск возможностей для их решения (Хаггет, 1979; Трейвиш, 2006; Демьяненко, 2010). Появляется возможность фиксировать не только изменения масштабов нарушенных земель, но и различные виды геоэкологической устойчивости и внутренних ландшафтных связей, взаимодействие иерархических единиц различной масштабности, сквозные вещественно-энергетические потоки, играющие системообразующую роль.

Вторая сторона полимасштабности – разномасштабность реакций ландшафта в диаде «воздействие – отклик», несоответствие пространственно-временных и содержательных масштабов трансформации. Например, воздействие одного точечного объекта – факельной установки – приводит к изменению приземной температуры и геохимическому загрязнению значительных ареалов. Локальное (очаговое) воздействие распространяется за пределы самого источника воздействия по различным направлениям, проявление такого воздействия может выходить далеко за границы очага; ареал воздействия часто складывается из различных зон влияния. Их кумулятивный эффект приобретает региональное и глобальное значение, достигая высшего иерархического уровня географической оболочки (Мильков, 1973; Исаченко, 1980). В подобных случаях особенно важны геопространственный охват исследуемого процесса и детальность исследований на выбранном иерархическом уровне для разработки действенных путей оптимизации ландшафтов, значимых для каждого пространственного масштаба и совокупности всех иерархических уровней трансформируемых ландшафтов.

Третья сторона – длительность и объем нефтегазового природопользования – проявляется в разнице степени и глубины текущей и накопленной техногенной нагрузки, варьирующей от

локальных местоположений до уровней стран и континентов. Добыча нефти и газа в наши дни ведется более чем в 54 странах мира, формируя планетарную совокупность специфически трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса.

Четвертая сторона – полимасштабность воздействия и последствий – отражает многосторонний эффект на сопряженную действительность, в том числе – на социально-экономические характеристики территориального образования и качество жизни населения. Изменения в ландшафтах играют одну из основных ролей в формировании состояния эколого-социально-экономической системы на каждой ступени полимасштабной географической шкалы – от уровня стран и регионов до более мелких административных единиц (Mainguet, 1991; Yang, Zhang, 2005; Ahmed, 2015; Кравцова, Чалова, 2016). В нефтегазоносных районах значительная часть населенных пунктов тесно взаимосвязана с эксплуатируемыми месторождениями, в ряде случаев формируются заметны параллели и различия в геоэкологической и социально-экономической ситуации в районах с нефтегазодобычей и без такого производства. Например, специфика Оренбургской области – ядра Волго-Уральского степного нефтегазоносного региона – такова, что нефтегазодобывающее производство вносит наибольший вклад в развитие ее экономики. Нефтегазовая отрасль занимает 42% в общей доле промышленного производства, однако обеспечивает рабочими местами лишь чуть более 1% населения области (Промышленный комплекс..., 2017). При этом Оренбуржье сохраняет важное значение в обеспечении продовольственной безопасности России.

Промышленность в целом, и, в частности, добыча нефти и газа призвана обеспечивать социально-экономические выгоды для района или региона, компенсируя ущербы населению, в том числе – геоэкологические (Lee, 2015; Miao и др., 2016; Estoque, Murayama, 2017; das Neves Almeida, 2017; Lomas, Giampietro, 2017). Хорошо известны примеры подобной положительной связи на Ближнем и Среднем Востоке и др. (Природопользование в территориальном развитии..., 2014; The Economic Impact..., 2010-2014). Однако анализ статистических показателей, характеризующих уровень жизни населения в районах Оренбургской области, наглядно показал, что в динамике численности населения – одном из важнейших показателей, отражающих социально-экономико-экологические процессы, за последние 20 лет наблюдаются устойчивые отрицательные тренды (рис. 4). Снижение общей численности населения Оренбургской области – в среднем в 1,3 раза за 10 лет – интегральный результат естественной убыли населения и миграционного оттока. Показатели смертности в районах без добычи нефти и газа ниже, чем в нефтегазодобывающих районах.

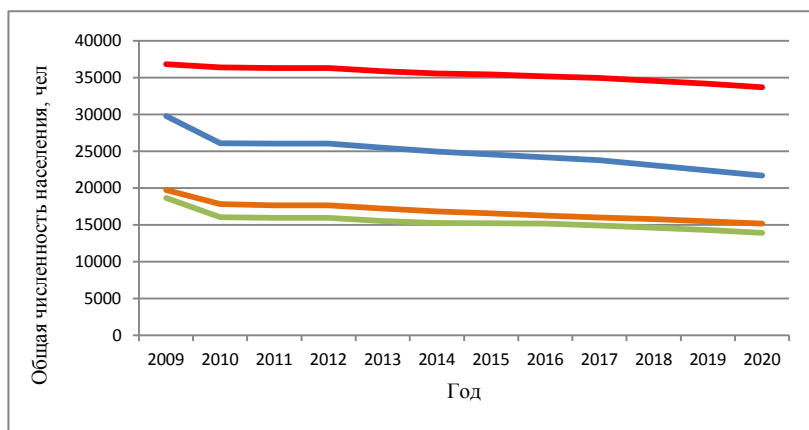


Рисунок 4 – Снижение численности населения Оренбургской области: в Новосергиевском (красн.), Курманаевском (оранж.) нефтегазоносных районах; Адамовском (син.), Домбаровском (зелен.) районах без нефтегазодобычи.

Кривые динамики показателей «затраты на охрану окружающей среды», «платежи при пользовании природными ресурсами», «инвестиции в основной капитал на душу населения» близки для всех анализируемых районов, независимо от их экономической специализации и выгоды нефтяного бизнеса.

К сожалению, развитие нефтегазодобывающего производства в муниципальных образованиях не всегда способствует формированию природных и социально-экономических факторов, способных удержать население от поиска более комфортных и перспективных условий жизни. Нарастающие социально-бытовые сложности и геоэкологические проблемы – разбитые большегрузным транспортом дороги, специфическая органолептика, возникающая при сжигании попутного нефтяного газа, рост площадей нарушенных земель, многолетние проблемы обращения с отходами производства, заброшенные сельскохозяйственные угодья – далеко не полный перечень последствий разработки месторождений нефти и газа в крупном степном регионе Европейской России. При этом разрушение естественной структуры ландшафтов, ухудшение геоэкологических условий развития нефтегазоносных муниципальных районов не компенсируются значимыми социально-экономическими преимуществами для населения.

Очевиден вывод: полимасштабные эффекты воздействия нефтегазодобычи должны учитываться при разработке схем оптимизации ландшафтов в условиях глобальных, региональных и локальных трансформационных процессов.

3. Глобализация, эквифиальная направленность и углубление трансформационных процессов природопользования в степной зоне во многом обусловлены спецификой нефтегазодобывающего производства и типологией широтно-зональных природных условий ландшафтогенеза. Отсутствие естественных географических барьеров, лимитирующих расширение линейных и очаговых зон воздействия нефтегазопромыслов – низкая лесистость, слабая пересеченность рельефа, разреженная гидрографическая сеть, отсутствие полноводных рек и крупных региональных литогеохимических барьеров совокупно определяют проявления факторов техногенеза в степных ландшафтах.

Ход и глубина трансформации ландшафтов под воздействием нефтегазодобычи тесно связаны с зонально-климатическими факторами ландшафтной дифференциации на

надрегionalном и региональном уровнях, геолого-геоморфологическими (литогенная и почвенная неоднородность, ярусность, экспозиция склонов и др.) – на локальном. Особенностью процессов нефтегазодобычи является повсеместное внедрение в ландшафт точечных, площадных и линейных техногенных объектов, которыми обусловлено формирование очаговых воздействий на самом низшем иерархическом уровне исходной геосистемы. Широкое распространение структурных звеньев комплекса нефтегазопромыслов формирует специфическую зону техногенного воздействия, с наложением, пересечением, совмещением зон влияния объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, очагами геохимических, термических, геофизических и др. аномалий (рис. 5).

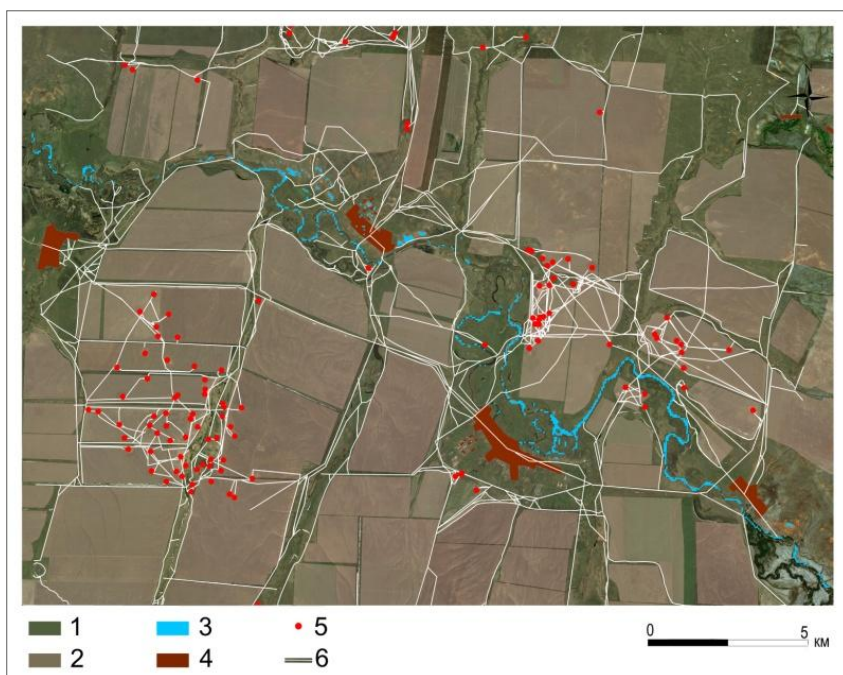


Рисунок 5 – Картографическая визуализация диффузно-очагово-линейного распространения объектов нефтегазодобычи на ключевом участке №11 (Боголюбовское, Кодяковское и Бaleyкинское нефтегазовые месторождения): 1 – естественные ландшафты, 2 – сельскохозяйственные угодья, 3 – водоток, 4 – населенные пункты, 5 – объекты нефтегазодобычи, 6 – дорожная сеть нефтегазопромысла.

По результатам оцифровки площадок размещения объектов и дорожной сети выявлено, что площадь земель, нарушенных инфраструктурой нефтегазопромыслов на российских ключевых участках № 1-14 составляет в среднем 2,6% – то есть 2,6 км² на 100 км², а максимальное значение – 5 км² на 100 км². При площади нарушенного степного растительного покрова более 5 км² в атмосфере будет оставаться более 1000 т оксидов углерода ежегодно (расчеты по: А.Т. Мокронос, 1994).

На юге Республики Татарстан площадь нарушенных земель лесостепной зоны на крупнейшем Бавлинском нефтяном месторождении (ключ. уч-к №14) не превышает среднего значения (2,5%), при том, что оно эксплуатируется с 1949 г., а в границах ключевого участка размещены 256 площадок с его объектами. На ключевом участке №15 в штате Колорадо площадь нарушенных земель менее 1%. Здесь транспорту запрещено перемещение вне официально утвержденных дорог.

Нарушенные земли Волго-Уральского степного региона расширяются в результате бесконтрольного увеличения зоны техногенного воздействия. Доля специализированных дорог

нефтегазопромыслов варьирует от 12 до 59% общей длины дорожной сети ключевых участков, при этом около 25% дорог составляют неофициальные подъездные пути, создаваемые водителями ведомственного большегрузного транспорта. Подобные действия возможны не только из-за отсутствия в степных районах естественных географических барьеров, но и вследствие слабого административно-управленческого контроля.

Известно пороговое значение плотности дорожной сети в равнинном ландшафте – 0,6 км/км², превышение которого, как считается, приводит к нарушениям в мобильности сообществ крупных млекопитающих (Forman и др., 1998, 2003). Выполненные автором расчеты показали, что на ключевых участках Волго-Уральского степного региона плотность дорожной сети колеблется от 1,4 до 4,3 км/км², что многократно превышает показатели допустимого воздействия.

Учет изменений площади нарушенных нефтегазодобычей земель, изменяющих исторически сложившуюся структуру ландшафтов степной зоны, является одной из наиболее важных и сложных задач при разработке путей их оптимизации. Распознавание нарушенных земель на спутниковых изображениях затруднено в связи со значительным количеством сельскохозяйственных угодий, подвергающихся разнообразной сезонной обработке (Мячина, Чибилёв, 2015). Автором разработан метод выявления нарушенных земель по зимним спутниковым изображениям (Mjachina, Hu, Chibilyev, 2018), позволяющий сопоставлять долговременные ряды трансформированных ландшафтов (рис. 6).

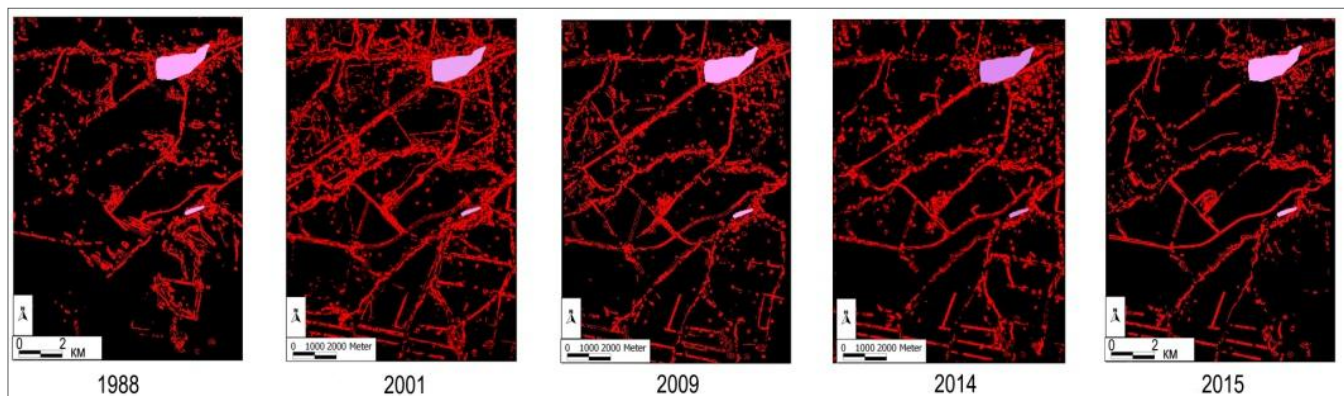


Рисунок 6 – Визуализация динамики нарушенных земель и фрагментации ландшафтов в период с 1988 по 2015 гг. на участке Бобровского нефтегазового месторождения (ключ. уч-к №7) на основе классификации снимков Ландсат: красным цветом показаны нарушенные земли, розовым – населенные пункты (Mjachina, Hu, Chibilyev, 2018).

Динамика фрагментации ландшафтов

Сравнительно-картометрический анализ динамики нарушенных земель позволил рассчитать параметры фрагментации ландшафтов за 27 лет эксплуатации Бобровского месторождения – одного из крупнейших в Волго-Уральском степном регионе. Максимальные показатели отмечены в период наиболее интенсивной разработки – с 2001 по 2009 гг.: фрагментация ландшафтов возросла здесь более чем в 3 раза по сравнению с начальными этапами

освоения. Это произошло, по большей части, за счет увеличения плотности дорожной сети месторождения. Площадь незатронутых техногенным воздействием ландшафтов сократилась, средний размер их частей уменьшился в 6 раз. Общая площадь эксплуатируемых нарушенных земель к 2015 г. снизилась более чем в 1,5 раза по сравнению с периодом наиболее интенсивной нефтедобычи (см. рис. 6).

В результате воздействия объектов нефтегазопромыслов коренные степные фитоценозы, как правило, претерпевают сукцессии, направленные в сторону деградации, упрощения растительного покрова, замены коренных степных видов сорными и их группировками. Местами растительный покров нарушен до полного его исчезновения (Чибилёв, Мячина, 2007; Калмыкова, Мячина, Вельмовский, 2015).

Изменение биоразнообразия

Механическое уничтожение местообитаний, фрагментация ландшафтов, геохимическое и шумовое воздействия приводят к изменению биоразнообразия ландшафтов – например, сокращается численность млекопитающих. Проанализировано влияние нефтегазодобычи на индикаторные степные виды животных: сурка *Marmota bobak*, обыкновенной лисицы *Vulpes vulpes*, зайца-русака *Lepus europaeus*, сибирской косули *Capreolus pygargus* (Барбазюк, Мячина, 2018). По динамике их численности за 17 лет по данным ФГБУ «Центрохотконтроль» Министерства лесного и охотничьего хозяйства Оренбургской области выявлено, что развитая нефтегазодобывающая инфраструктура – лимитирующий фактор для трех видов млекопитающих из четырех: в нефтегазоносных районах средняя многолетняя численность сибирской косули, зайца русака и сурка снизилась в среднем в 1,5 раза.

Основная причина роста фрагментации ландшафтов – рост плотности дорожной сети нефтегазопромысла, которая коррелирует со значением индекса эффективного каркаса $Kэф$ (Jaeger и др., 2007) и остротой геоэкологической ситуации в аспекте возможного изоляционного сокращения численности животных. Чем выше значение индекса $Kэф$, тем выше степень связанности ландшафта и тем выше вероятность встречи двух разнополых особей. Максимальное значение $Kэф = 1$ и достигается в случае структурно целостного ландшафта. Уровень остроты геоэкологической ситуации предлагается определять по кратности превышения порогового значения плотности дорожной сети в ландшафте. Пример изменения остроты геоэкологической ситуации в зависимости от стадии разработки Бобровского нефтегазового месторождения представлен в таблице 1.

Таблица 1. Изменение остроты геоэкологической ситуации в связи с ростом фрагментации ландшафта и потенциальным сокращением биоразнообразия на участке Бобровского месторождения (ключ. уч-к №7)

Дата снимка	Кол-во фрагментов на участке*	Плотность дорожной сети на участке, км/км ²	$K_{эф}$	Острота геоэкологической ситуации
28.02.88	720	1,3	0,84	неблагополучная
08.01.01	2684	5,2	0,23	критическая
21.02.09	2026	4,6	0,31	критическая
03.03.14	1790	3,9	0,39	острая
02.03.15	1286	2,8	0,46	напряженная

Распространение эрозионных процессов

На участках Покровского (ключ. уч-к №2), Росташинского (ключ. уч-к №8), Боголюбовского, Кодяковского и Балейкинского (ключ. уч-к №11) нефтегазовых месторождений с различной длительностью и степенью техногенного воздействия выявлена почвенная эрозия, катализируемая процессами нефтегазодобычи. Площади эродированных земель возросли на 3,5-14% за 35 лет эксплуатации месторождений (Рис. 7).

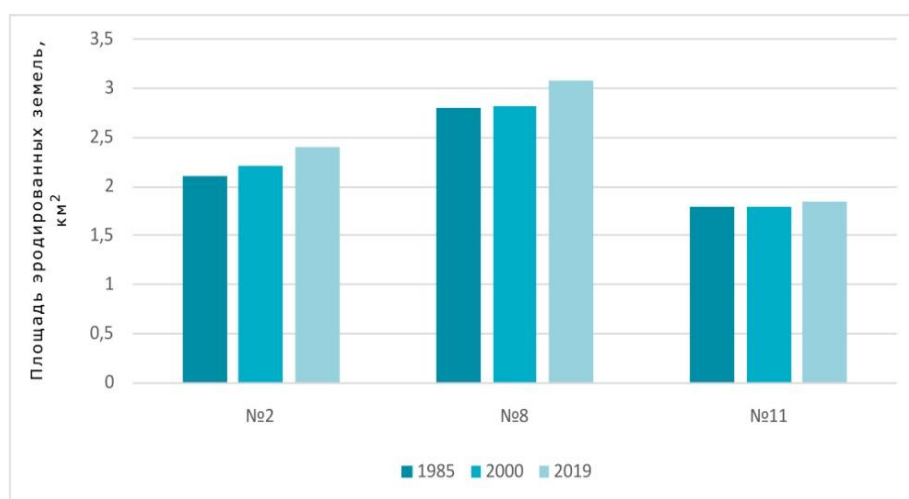


Рисунок 7 – Многолетний рост площади эродированных земель на Покровском, Росташинском, Боголюбовском, Кодяковском и Балейкинском месторождениях Волго-Уральского степного региона (Мячина, Дубровская, Ряхов, 2020).

Техногенные формы эрозии разрастаются вокруг обваловки площадок скважин, в некоторых случаях становятся центрами оврагообразования, существенно активизируя деструктивные процессы, направленные в сторону базиса эрозии. Фактор склоново-экспозиционной дифференциации ландшафтных местоположений отнесен к одному из наиболее существенных, влияющих на вероятность и силу проявления эрозионных процессов. К эрозионноопасным относят участки с уклоном более 3° ((Щепашенко, 1991; Trabucchi и др., 2012) и южные (юго-восточные) экспозиции склонов (Måren и др., 2015). Выявлено, что в Волго-Уральском степном регионе местоположения 11-ти процентов всех обследованных объектов нефтегазопромыслов характеризуются сочетанием уклона рельефа более 3° и южной (юго-восточной) экспозицией склона.

Последствия для водных объектов

В зонах воздействия нефтегазопромыслов нарушаются процессы формирования склонового стока в сторону его увеличения или уменьшения на 25-30% (Хорошавин, 2005; Южаков, 2006). Ранее А.Г. Исаченко (1980) установил, что в ландшафтах лесостепной и степной зон с неустойчивым и недостаточным увлажнением водный баланс изменяется и без прямого изъятия речных вод, а лишь в результате преобразования стока на водосборах. Объекты нефтегазопромыслов Волго-Уральского степного региона в 20% случаев размещены без учета геоэкологических рисков для водных объектов, при этом геохимическому и механическому загрязнению подвергаются 78% водотоков (рис. 8).

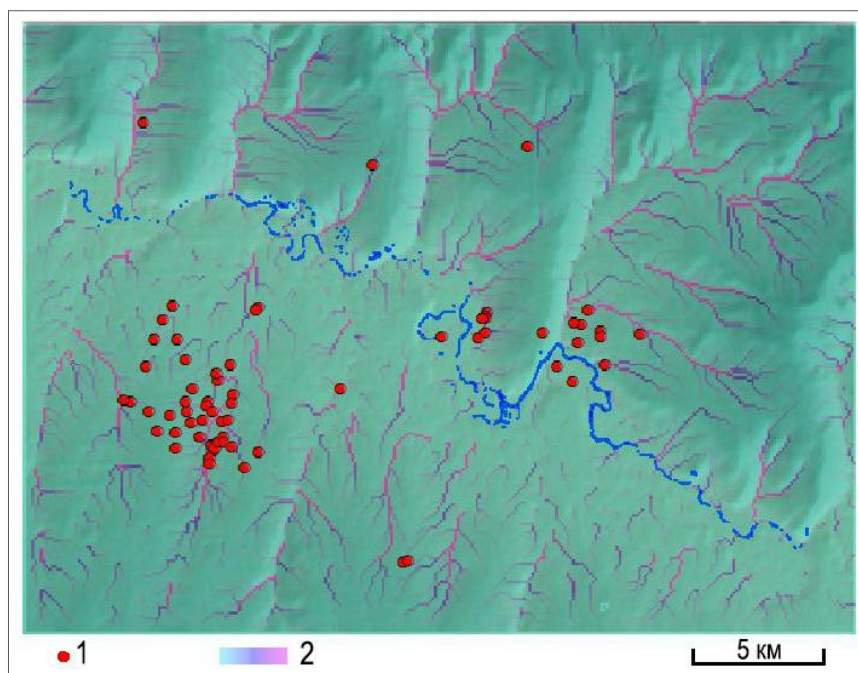


Рисунок 8 – Перекрытие линий поверхностного стока р. Большой Уран на Боголюбовском месторождении (ключ. уч-к №11): 1 – объекты нефтегазопромысла, 2 – линии стока с градацией интенсивности. При таком размещении, помимо нарушения режима стока, происходит техногенное загрязнение водотока (например, после аварийных разливов нефти превышения ПДК

нефтепродуктов в водотоках изменяются в диапазоне от 1,2 до 6220 раз).

При значительных изменениях пластовых давлений в ходе добычи нефти и газа в подземных водоносных системах формируются новые техногенные структуры с напряженно-деформированным состоянием, чреватые повышением сейсмической опасности. В районах интенсивно разрабатываемых нефтегазовых месторождений регистрируется 35% всех сейсмических событий региона исследования (Нестеренко, 2012).

Формирование тепловых и газохимических аномалий

Сжигание попутного нефтяного газа вызывает повышение температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы, формируя техногенные «островки тепла». Обнаружено, что температура повышается на 8° в радиусе от 30 до 350 м от факела. Одна факельная установка в степной зоне приводит к распространению ареала повышенной температуры в среднем на площади $0,085 \text{ км}^2$; при сжигании попутного газа на 100 установках температура возрастает на площади более чем 8 км^2 .

По сравнению с тропической зоной влажного экваториального климата с преобладанием густого лесного покрова, в которой «островки тепла» в зоне влияния газового факела расширяются до 450 м (Ojeh, 2012), в степной зоны они менее масштабны вследствие действия специфических рассеивающих факторов: преобладания ветреной погоды над безветренной, низкой влажности, отсутствия природно-географических барьеров для рассеивания тепловых и геохимических. Однако эти же факторы способствуют распространению поллютантов в составе дымового шлейфа факела на значительные расстояния. Дымовой шлейф факельной установки может рассеиваться до 11 км в длину и до 3 – в ширину, покрывая площадь более чем в 30 км² по любому румбу, в зависимости от рельефа местности и метеорологических условий. Геохимическому загрязнению продуктами сгорания попутного нефтяного газа подвергаются сельскохозяйственные угодья, естественные ландшафты, населенные пункты.

Динамика пашни

Развитие деструктивных процессов, рассмотренных выше, нередко приводит к выводу из оборота пашни, расположенной в зоне влияния нефтегазопромыслов. Только в Оренбургской области более трети плодородных земель сельскохозяйственного назначения находится в границах лицензионных участков под разведку и разработку нефтегазовых месторождений, что способствует созданию негативного эффекта взаимопроникновения и взаимовлияния двух столь разнородных видов природопользования.

Анализ данных за 2006-2018 гг., представленных в «Государственных докладах о состоянии и использовании земель в РФ», подтверждает устойчивое снижение площади земель сельскохозяйственного назначения по областям Волго-Уральского степного региона на фоне роста площади земель промышленности и иного назначения (рис. 9).

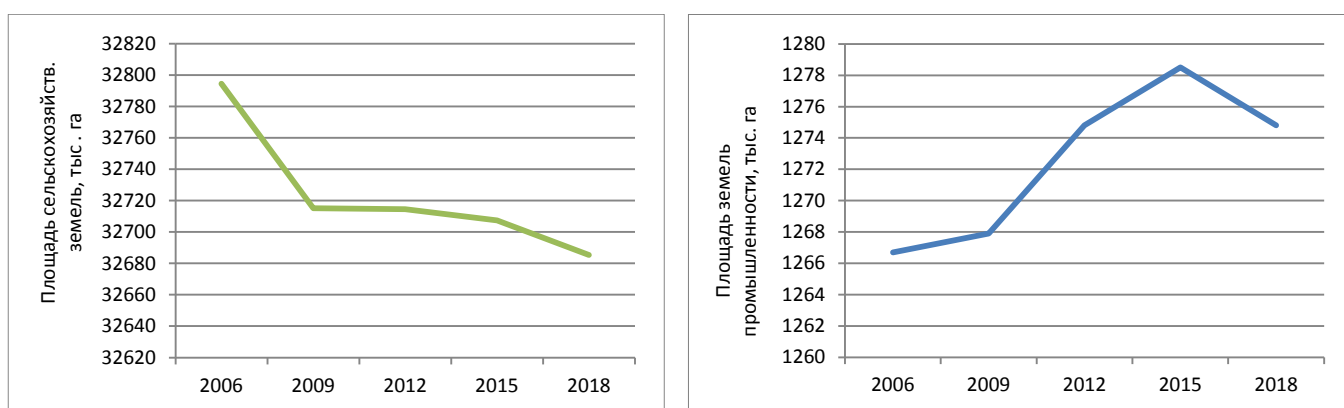


Рисунок 9 – Снижение площади земель сельскохозяйственного назначения (слева) и увеличение площади земель промышленности и иного назначения (справа) в Волго-Уральском степном регионе.

Анализ многолетней динамики (за 40 лет) распаханых земель, расположенных в тесном переплетении с нефтегазовыми месторождениями, выявил сокращение пашни и рост залежных земель в среднем на 40% по сравнению с начальными этапами освоения месторождений (рис. 10). Площадь нарушенных земель в ходе разработки месторождения может возрасти до 13 раз (Grudin, Myachina, 2020).

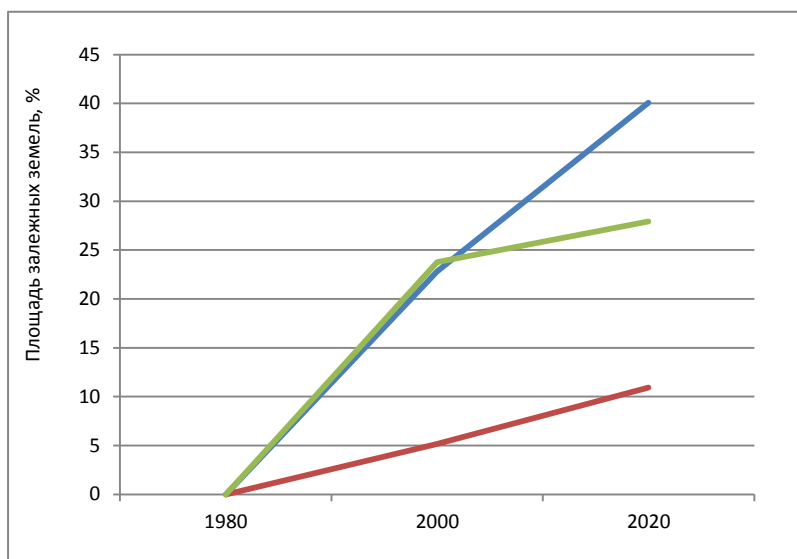


Рисунок 10 – Рост площади залежных земель – обобщенный пример на участках хозяйств, сопряженных с нефтегазопромыслами Мухановского (ключ. уч-к №5), Росташинского (ключ. уч-к №8), Боголюбовского, Кодяковского и Бaleyкинского (ключ. уч-к №11) нефтегазовых месторождений: син. – рост общей доли залежей

относительно общей площади пашни; красн. – рост доли залежей с объектами нефтегазопромыслов; зелен. – отношение площади залежей с объектами нефтегазопромыслов к общей площади залежных земель.

4. Многофакторность трансформации степных ландшафтов на ключевых участках нефтегазовых месторождений в соответствии с продолжительностью их освоения и уровнем техногенной нагрузки, завершающейся формированием управляемой природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения.

В условиях многофакторного воздействия на ландшафты ход трансформационных процессов укладывается в типовую схему, учитывающую особенности операций нефтегазодобычи и природно-климатические характеристики, обусловленные географической зональностью осваиваемой местности. В этой схеме отражены последствия, наиболее активно и масштабно проявляющиеся при добыче нефти и газа (рис. 11).

Представленная совокупность процессов техногенеза и их последствий отражает структуру специфических новообразованных взаимодействий, ослабляющих значение эволюционно-географических природных процессов, вызывает перестройку системы внутренних связей между ландшафтными компонентами, каждый из которых затронут факторами трансформации и последствиями техногенного воздействия (рис. 12).

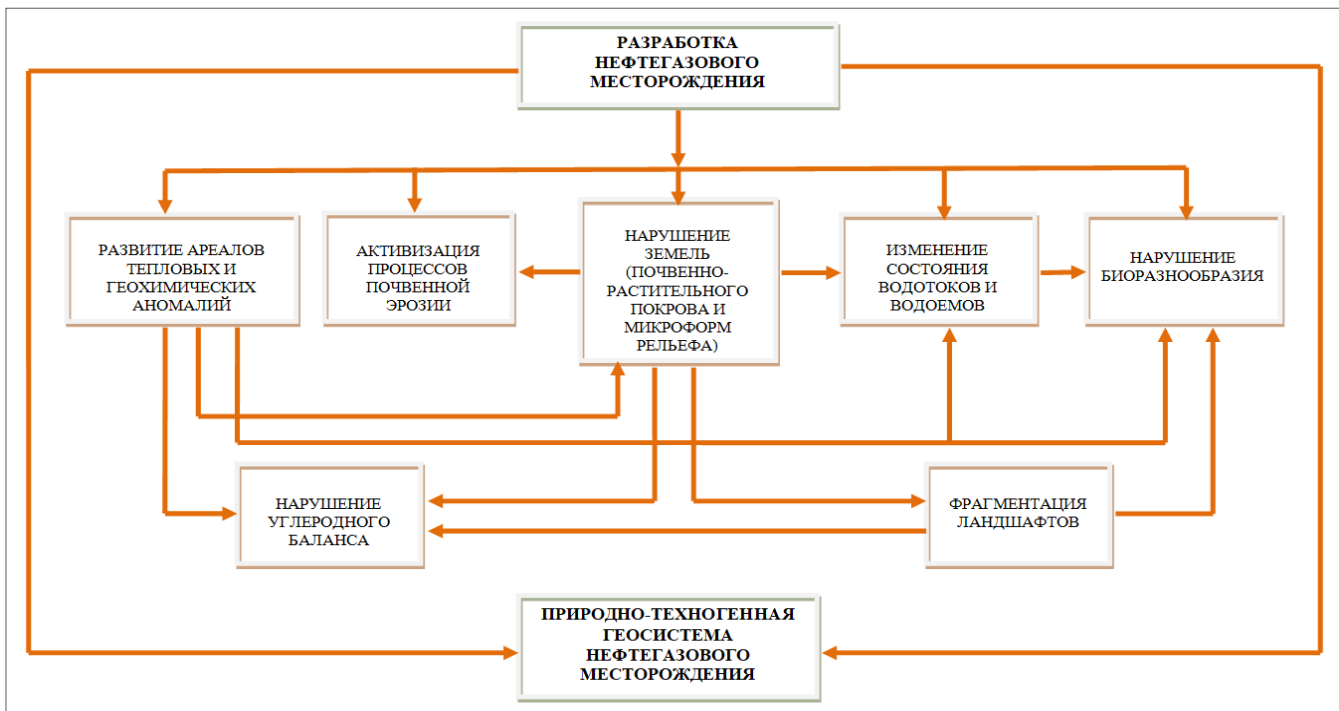


Рисунок 11 – Факторы трансформации и условия формирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения (Мячина, 2020).

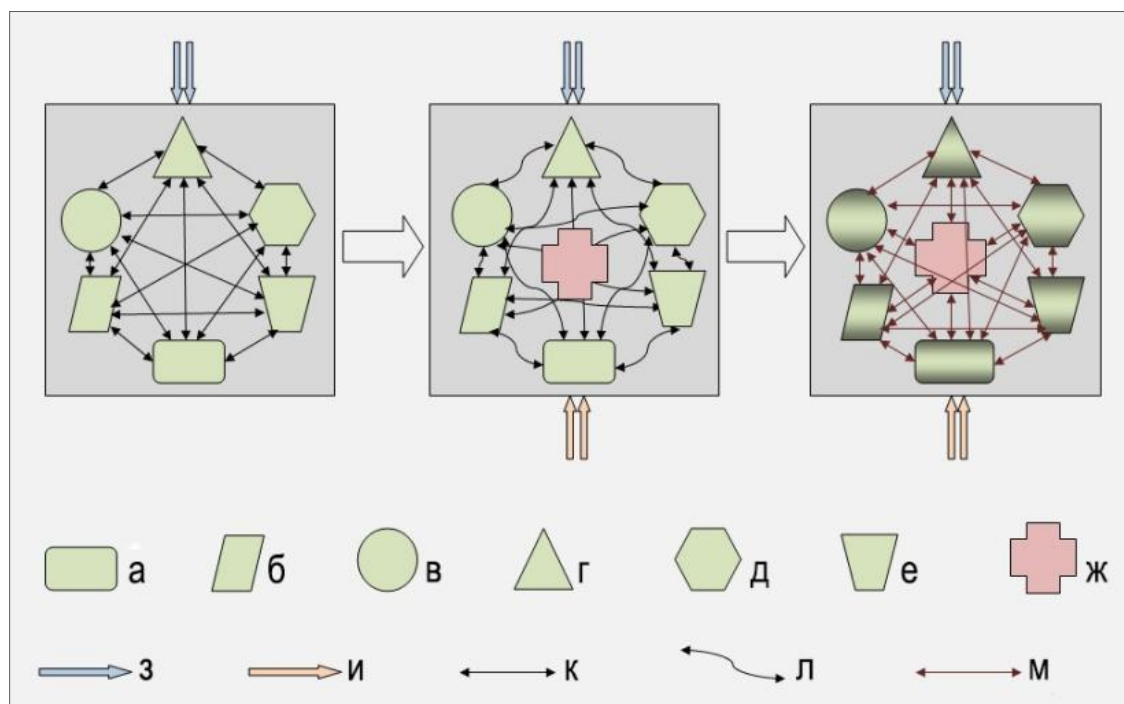


Рисунок 12 – Принципиальная модель внутренних связей исходной структуры степного ландшафта, перестраиваемых формированием природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения: компоненты исходного ландшафта новообразованной природно-техногенной геосистемы: а – морфолитогенная основа, б – почвы, в – растительный покров, г – воздушный компонент, д – водный компонент, е – животный мир (изменение окраски компонентов демонстрирует их трансформацию в ходе внедрения технического блока), ж – антропо-

техногенный блок нефтегазопромысла. Входящие потоки вещества и энергии: з – естественные, и – техногенные. Информационные связи и отношения между компонентами: к – связи в открытой самоуправляемой исходной геосистеме, л – нарушенные неустойчивые связи техногенного происхождения, м – вновь сформированные связи в управляемой человеком природно-техногенной геосистеме (Мячина, 2020).

Природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения (ПТГНМ) – совокупность саморегулируемых и управляемых естественных и модифицированных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения. Системообразующим началом выступает воздействие технических объектов нефтегазодобычи и вспомогательных процессов, ограничивающее, по мере своего внедрения, степень свободы функционирования компонентов исходного ландшафта. Типология природных ландшафтов и физико-географическое районирование степной зоны не сопоставимы с границами контуров техногенного обустройства нефтегазопромыслов.

Автор допускает правомерность экстраполяции множества локальных данных по ключевым участкам на всю исследуемую совокупность характеристик, выявляемых анализом факторов пространственной и временной трансформации ландшафтов, на основе принципа масштабной инвариантности процессов самоорганизации и саморегуляции в природе и обществе (по: Дегтярев, Носов, Шпаков, 2012).

Основные принципы формирования и функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения:

Трансформация компонентов ландшафта в условиях нефтегазодобычи ведет к изменению вещественно-энергетических и геоинформационных связей его вертикальной и горизонтальной структур. Диффузное очагово-линейное распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфические пространственно-временные проявления техногенного влияния, характеризующиеся наложением, пересечением, совмещением зон воздействия нефтегазодобывающего производства. Воздействие на структуру ландшафта связано не только с непосредственным размещением объектов нефтегазопромыслов, но и с образованием и интерференцией разнообразных геополей. За элементарные единицы ПТГНМ принимаются природно-техногенные «фации» (площадки по добыче нефти, участки дорожно-транспортных сетей, трубопроводов, ЛЭП и т.п.), образующие природно-техногенную геосистему – источник сопряженного воздействия на ландшафт. Воздействие прослеживается либо в виде рядов трансформирующихся по цепочке урочищ (например, аварийная геоситуация с разливом нефти на водоразделе приводит к изменениям в ряду нижележащих ландшафтно-геохимических фаций), либо в форме интерферирующих геополей, в центре которых расположены, например, буровые установки. Пространственно-временная информация ПТГНМ имеет несколько уровней организации – от простейших параметров природно-техногенной фации до статистически

усредненных интегральных характеристик природно-техногенной геосистемы месторождения, нефтегазозоносного района, области, провинции и т.д.

Природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения характеризуется последовательными стадиями развития, определяемыми длительностью освоения месторождения и уровнем техногенной нагрузки на исходный ландшафт. Схема, иллюстрирующая стадии развития ПТГНМ, представляет собой характеристики этапов освоения месторождения и насыщения нефтегазопромысла объектами инфраструктуры, иными словами – вовлечение компонентов исходных ландшафтов в процессы трансформации.

Исчерпывающая характеристика стадии в каждый момент времени невозможна, так как включает бесконечное количество переменных. Поэтому динамика структуры и уровня трансформации ландшафтов на каждой стадии ПТГНМ определялась наиболее значимыми показателями: количеством площадок со скважинами и другими объектами нефтегазопромысла, плотностью дорожной сети, площадью нарушенных земель, долей объектов, размещенных на расстоянии до 500 м от водотоков и водоемов (рис. 13).

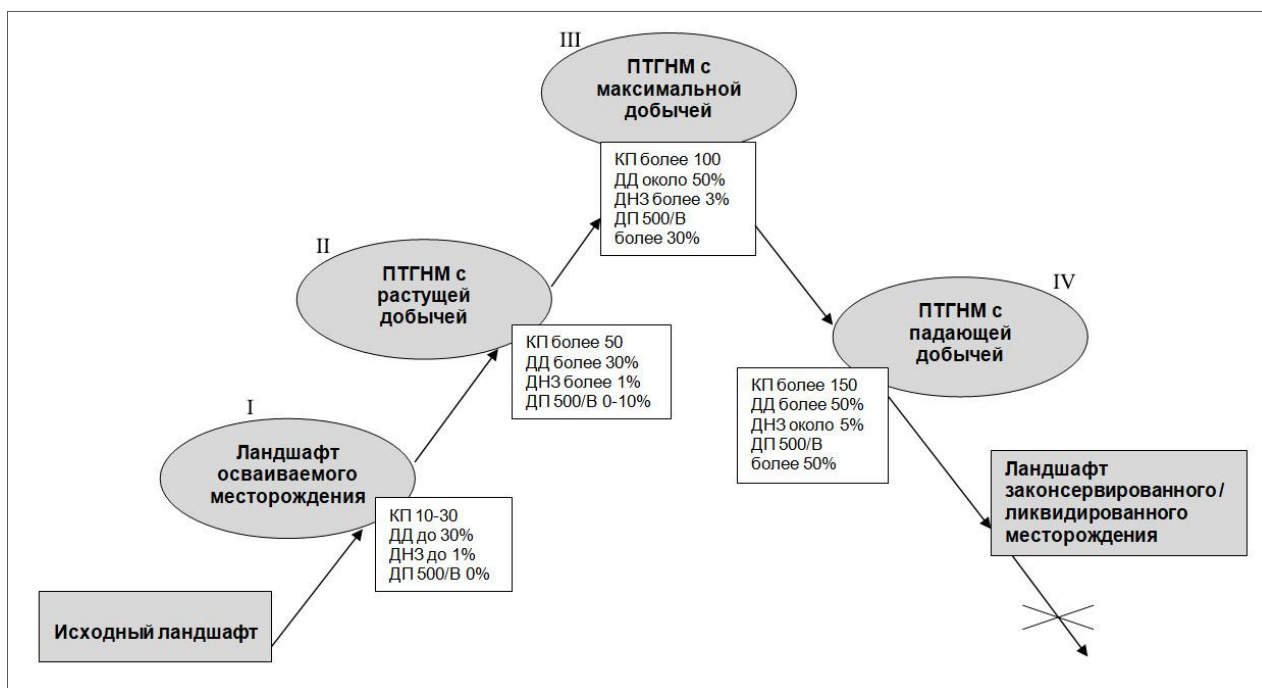


Рисунок 13 – Стадии развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения: КП – количество площадок со скважинами и др. объектами, ДД – доля дорожной сети нефтегазопромысла в ее общей плотности на участке исследования; ДНЗ – доля нарушенных земель; ДП 500/В – доля площадок с объектами нефтегазопромысла, расположенных ближе 500 м от водотоков и водоемов.

Устойчивость ПТГНМ напрямую связывается с балансом вещественно-энергетических отношений между природной и техногенной составляющими этого противоречивого объединения и изменяется от одной стадии разработки месторождения к следующей, с усилением техногенного воздействия на исходную природную подсистему (до достижения максимальных объемов добычи

углеводородов). На завершающей стадии техногенный пресс ослабевает, а ликвидация бурового оборудования и сопутствующей инфраструктуры активизирует биотические предпосылки почвенно-растительного покрова к ревитализации степного ландшафта.

Картографическая визуализация многофакторных эффектов воздействия и трансформации ландшафтов выявила ряд взаимозависимостей: плотность нефтегазовой дорожной сети зависит от количества площадок с объектами, фрагментация ландшафтов связана с площадью нарушенных земель, скорость эрозии – с крутизной склонов на участках размещения объектов нефтегазодобычи и т.д. (табл. 2).

Таблица 2 – Численные значения связей показателей техногенной трансформации исходных ландшафтов с годом начала разработки нефтегазовых месторождений Волго-Уральского степного региона

Показатель трансформации ландшафтов	Показатель линейной корреляции Пирсона (r)	Коэффициент детерминации (R ²)
Доля плотности специализированных нефтегазопромысловых дорог в общей плотности дорожной сети ключевого участка	-0,93	0,87
Доля нарушенных земель	-0,88	0,77
Доля площадок с объектами нефтегазопромысла, размещенных менее чем в 500 м от водотока / водоема	-0,84	0,71

Таблица 3 – Ведущие факторы техногенного воздействия и показатели трансформации ландшафтов на ключевых участках нефтегазовых месторождений

№ участка	Год начала разработки недр	Кол-во площадок с объектами нефтегазовых месторождений	Плотность дорожной сети; км/км ²	Доля дорог нефтегазовых месторождений в общей плотности дорожной сети; %	Доля земель, нарушенных инфраструктурой месторождений; % от общей площади участка	Стадия ПТГНМ
1	1989	13	3,1	22,31	0,88	I
2	1959	158	3,4	58,94	3,67	IV
3	1977	34	1,4	50,44	1,38	II-III
4	1990	12	2,0	27,87	0,93	I
5	1947	49	3,6	56,98	3,35	II-III
6	1969	120	2,7	35,69	3,04	III-IV
8	1982	98	3,2	58,41	5,18	III-IV
9	1966	115	4,3	62,08	4,2	IV
12	1961	168	3,4	49,20	4,39	IV
13	1947	98	3,1	32,14	2,86	III
14	1949	265	4,6	44,31	2,5	III-IV
15	1998	247	0,2	0,13	0,84	-

Выявленные таким образом отношения и связи доказывают, что индивидуальные компоненты ландшафта – техногенно модифицированные природные и технические – правомочно объединять в природно-техногенные геосистемы нефтегазовых месторождений. Подобных сочетаний факторов в процессах трансформации ландшафтов на разных уровнях может быть множество, что подтверждает иерархичность и полимасштабность ПТГНМ.

5. Стадийность функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения позволяет обосновать принципы, подходы и конкретные направления оптимизации ландшафтов степной зоны с ослаблением техногенных вещественно-энергетических потоков и ревитализацией природно обусловленных связей и отношений ландшафтогенеза.

Анализ стадий ПТГНМ производился с учетом специфичности каждой из них по связям с исходным ландшафтом. По окончании выработки и ликвидации нефтегазопромысла ландшафты месторождений не возвращаются к своему исходному состоянию. Этому препятствуют необратимо внедренные в исходную ландшафтную структуру конструкции ликвидированных или законсервированных скважин. Оставшийся полигон с техническим оборудованием в центре, подъездными путями и остатками полуразрушенной инфраструктуры нефтегазопромысла переходят в разряд «нефтяного геоэкологического наследия», обуславливая эквифинальность процессов нефтегазодобычи. Таким образом, современные технологии нефтегазодобычи неизменно приводят к качественному изменению структуры исходного ландшафта, предопределяя смену его природного состояния природно-техногенным инвариантом.

ПТГНМ отличают следующие эмерджентные свойства:

- «локальный климат нефтегазопромысла» модифицируется в результате длительного функционирования факельных установок и масштабного уничтожения почвенно-растительного покрова;
- биологическое разнообразие, сокращающееся с потерей характерных местообитаний;
- повышение гидрогеодинамической и сейсмической активности, расширение и углубление депрессионных воронок подземных вод со снижением пластового давления и изменением гидродинамики в водоносных горизонтах (по: Гаев, 2007; Нестеренко и др., 2012, 2017);
- зарегулированность поверхностного стока в ходе изменения морфологии рельефа.

Под оптимизацией ландшафтов автор понимает процессы регулирования их состояния для максимально возможного усиления природного потенциала и роли экосистемных услуг при заданных условиях природопользования. По предварительным оценкам, степные ландшафты России способны обеспечить 11,7% от общего объема потенциальных экосистемных услуг степного биома Земли (Тишков, 2005; 2010). К основным экосистемным услугам ландшафтов степной зоны отнесены обеспечение населения водой, минеральными и биологическими ресурсами, возможности рекреации, аккумуляция углерода биотой, сохранение климатических условий для сельскохозяйственного производства и др. Полимасштабные

последствия нефтегазодобычи способны привести к значительной утрате каждой позиции указанного перечня, поэтому геоэкологическая оптимизация ландшафтов представляется отнюдь не простым и не сиюминутным мероприятием.

В самом общем виде оптимизация ландшафтов включает сохранение, восстановление и рациональную организацию ландшафтной структуры в ходе их использования, и, в первую очередь, требует смены приоритетов недропользователей и стейкхолдеров с сугубо потребительских на эколого-экономические, когда при планировании и ведении производственной деятельности первостепенными будут вопросы экологической безопасности, охраны и воспроизводства ландшафтов (Краснов, Романчук, 2009).

Наиболее эффективное направление оптимизации – сокращение входящих материально-энергетических потоков техногенного происхождения как движущей силы трансформации природных ландшафтов. Смягчение хотя бы одного, а тем более – нескольких факторов трансформации позволит существенно снизить входной вещественно-энергетический сигнал техногенного происхождения. При таком снижении первичные связи останутся более устойчивыми, что позволит сохранить структуру исходных ландшафтов. Их неутраченные экосистемные услуги – самый надежный показатель эффективности оптимизационных подходов.

Анализ и синтез полимасштабной информации, выполненные в настоящей работе, позволяют допустить, что оптимизация иерархических рядов природно-техногенной геосистемы низких рангов приводит к повышению устойчивости ее более высоких иерархических уровней, тем самым снижая остроту геоэкологических проблем.

6. Базовая платформа и поэтапные практические действия по оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи.

Исходя из принципов функционирования геосистем и классических подходов к оптимизации ландшафтов вообще (Мильков, 1973; Исаченко, 1980) и степных ландшафтов в частности (Чибилёв, 2016), автором разработана базовая платформа оптимизационных действий для стадий: 1 – планирования нефтегазодобычи, 2 – функционирования ПТГНМ (с учетом стадийности ее развития), 3 – окончания разработки / ликвидации объектов нефтегазодобычи (рис. 14).

На всех этапах нефтегазодобычи целесообразно сопряжение оптимизационных мер с параметрами состояния природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, нефтегазодобывающего района, региона и т.д. На этапе планирования нефтегазодобывающего природопользования основополагающим является учет принципов многоцелевого использования земель различного функционального назначения (с приоритетом сельскохозяйственных); на этапе функционирования ПТГНМ – соблюдение эколого-правовых норм, разработанных с учетом специфики природных зон (Пиковский и др., 2003) и природосообразных стандартов, а также своевременная профилактика и недопущение чрезвычайных геоэкологических ситуаций; на этапе

ликвидации нефтегазопромысла – эффективность рекультивационных технологий и рационального использования потенциала экосистемных услуг восстановленных ландшафтов.

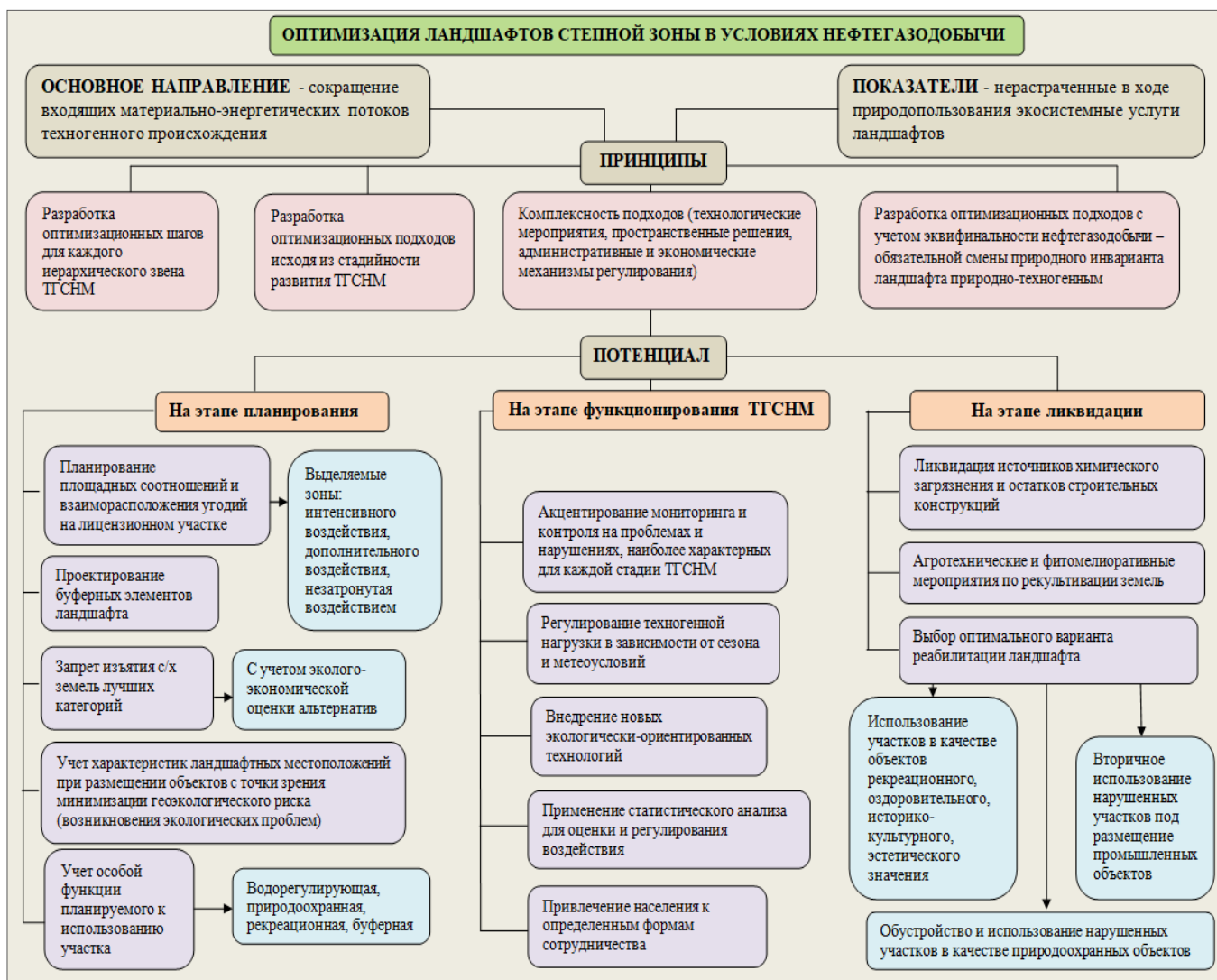


Рисунок 14 – Основные принципы и потенциал оптимизации ландшафтов степной зоны на разных этапах нефтегазодобычи (Мячина, 2020).

На основе полученных данных о техногенном воздействии на ландшафты в ходе нефтегазодобычи возможна разработка прогнозных сценариев оценки их состояния (Piette и др., 2020). Автором предложены два среднесрочных (5-10 лет) региональных сценария: а) – ситуация развивается аналогично существующей, без оптимизации; б) – реализуются оптимизационные подходы, снижающие уровень трансформации ландшафтов (рис. 15).

Не изменяя эквивалентности трансформационных процессов при нефтегазодобыче, предлагаемые оптимизационные механизмы способны усилить сохранение потенциала экосистемных услуг ландшафтов и сокращение «зон нефтяного геоэкологического наследия».

ПОКАЗАТЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ	ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИ СОХРАНЕНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ	ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ
ПЛОЩАДЬ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	2,3 %	< 0,5 %
ПЛОЩАДЬ ОЧАГОВ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ	10 %	1 %
ПРИРОСТ ОВРАЖНОЙ СЕТИ	в 5 раз	в 1,5 раза
ДОЛЯ ВОДОТОКОВ В ЗОНЕ РИСКА	78 %	1-2 %
РОСТ ФРАГМЕНТАЦИИ ЛАНДШАФТОВ	в 3 раза	в 2 раза
СНИЖЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ИНДИКАТОРНЫХ СТЕПНЫХ ВИДОВ МЛЕКОПИТАЮЩИХ	в 1,5 раза	< 1,5 раз
ДОЛЯ ПАШЕН В ЗОНЕ РИСКА ЗАБРАСЫВАНИЯ	20 %	1-2 %

Рисунок 15 – Прогнозные показатели трансформации ландшафтов Волго-Уральского степного региона при реализации различных сценариев нефтегазодобывающего природопользования (Мячина, 2020).

Примеры практической реализации оптимизационных подходов

1. Классификация ландшафтных местоположений по степени приоритетности для размещения объектов нефтегазопромысла. Обоснованием для пространственной координации технических объектов нефтегазопромысла может служить подход, основанный на ранжировании ландшафтных местоположений с точки зрения геоэкологической приоритетности размещения точечных производственных объектов – например, для минимизации эрозии почв. Предлагается оценивать приоритетность участков для размещения объектов нефтегазопромысла с использованием ГИС путем интегрального картографического моделирования с комплексной оценкой местоположений на основе ряда оценочных показателей: геолого-геоморфологических – например, уклона рельефа и экспозиции склона, пространственных – удаленности объекта нефтегазопромысла от водотока и иных (рис. 16). Ряд анализируемых таким образом показателей может быть неограничен, поэтому при принятии решения о размещении объектов нефтегазодобычи необходимо выделять наиболее значимые, учитывая принцип специфичности каждого местоположения (Mjachina, Baynard, Chibilyev, Richardson, 2018).

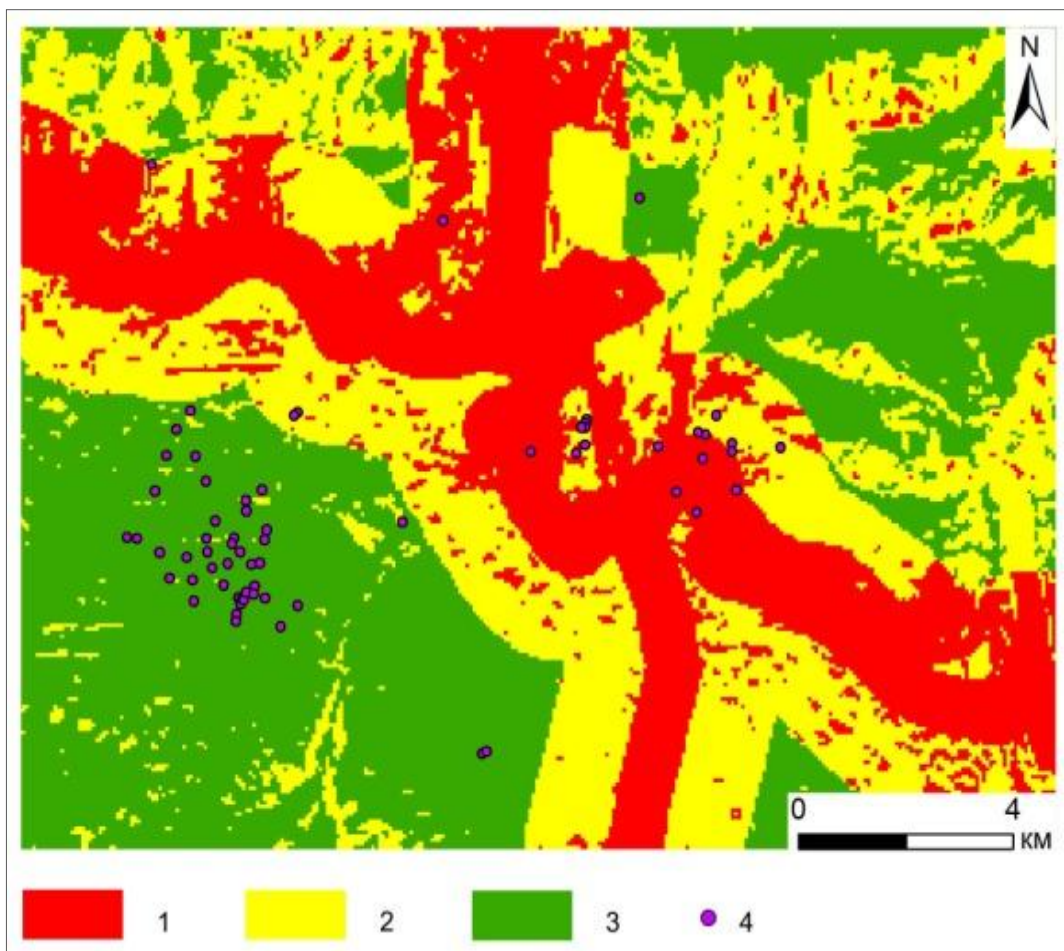


Рисунок 16 – Зонирование территории ключевого участка №11 (Боголюбовское, Кодяковское, Балейкинское нефтегазовые месторождения) по приоритетности ландшафтных местоположений объектов нефтегазопромыслов с учетом уклона рельефа, экспозиции склона и удаленности от водотока: 1 – неблагоприятные участки, 2 – умеренно-благоприятные участки, 3 – предпочтительные участки, 4 – площадки с объектами нефтегазопромысла.

2. Типология ландшафтов как основа выявления лимитирующих факторов природопользования базируется на их дифференциации в степной зоне с выделением типов местности (рис. 17). В зависимости от сочетания ландшафтных свойств и межкомпонентных связей типы местности отличаются параметрами, формирующими как уровни устойчивости, так и характеристики значимости природоохранных функций ландшафтного таксона (Чибилёв, 2000). Например, дренированные водоразделы наиболее ценны в хозяйственном отношении, в связи с чем целесообразно наложение ряда ограничений на их использование. В пойменном типе местности рекомендуется полный запрет недропользования; в надпойменном – запрет на сооружения шламовых амбаров, отстойников, хвостохранилищ и других мест хранения отходов, ограничение вырубки залесенных участков; в долинно-балочном и водораздельно-холмистом – ограничение вырубки залесенных участков, защита склонов от эрозии, укрепление деформированных элементов ландшафта; на водораздельно-плакорном – введение лимитов на отвод земель, недопущение уплотнения верхних горизонтов почв (Чибилёв, Мячина, Дубровская, 2014).

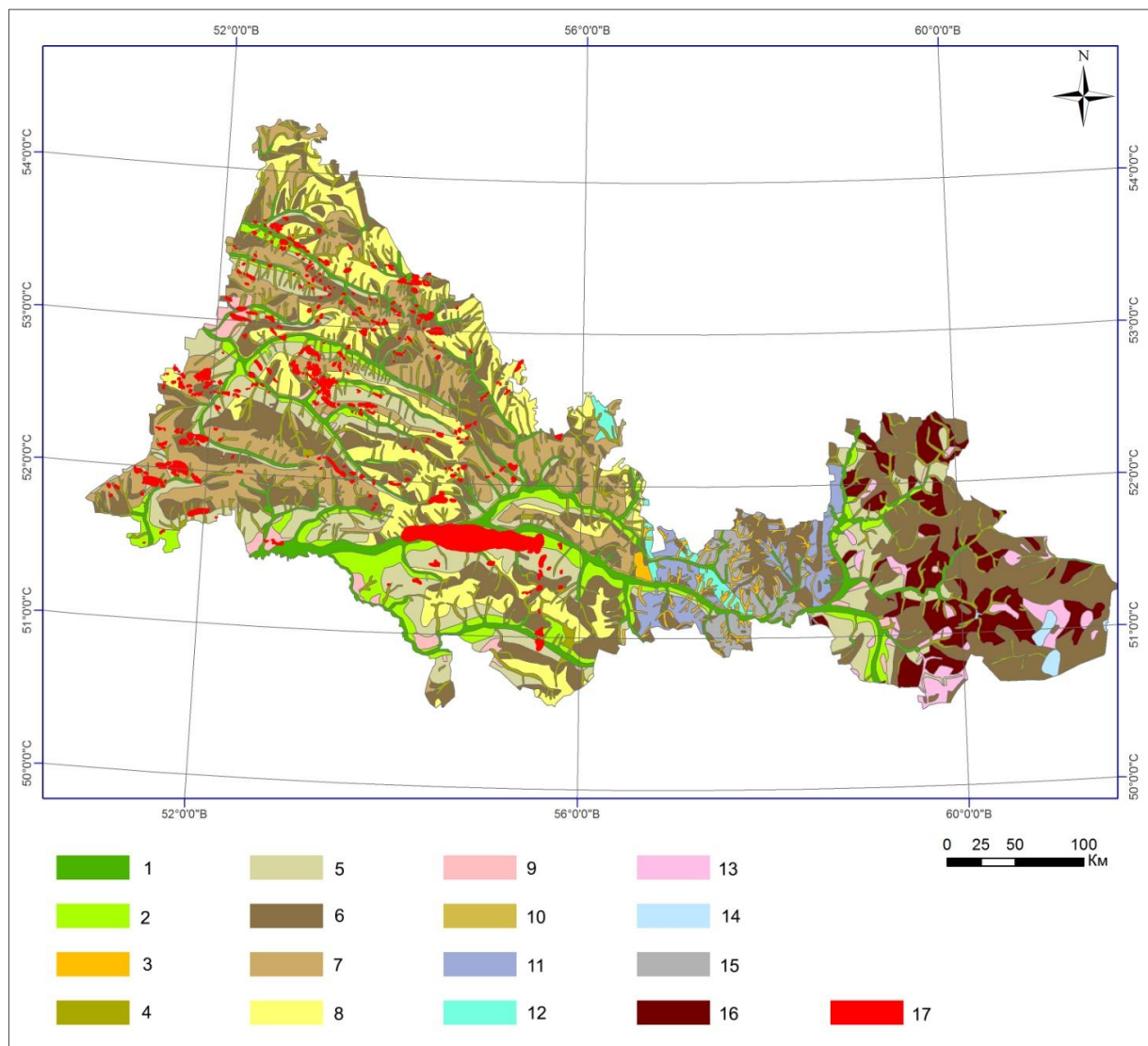


Рисунок 17 – Пространственная дифференциация и районирование местоположений месторождений нефти и газа Оренбургской области относительно ландшафтных единиц (типов местности): 1 – пойменный тип местности, 2 – надпойменно-террасовый, 3 – долинно-балочный, 4 – придолинно-плакорный, 5 – водораздельно-плакорный, 6 – водораздельно-увалистый, 7 – водораздельно-холмистый, 8 – бугристо-песчаный, 9 – холмисто-увалистый останцовый, 10 – низкогорный грядовый, 11 – междуречный слабодренированный, 12 – прибрежно-озерный, 13 – водораздельно-увалистый останцовый, 14 – приречно-мелкосопочный, 15 – приречно-склоновый, 16 – останцы выветривания, 17 – месторождения нефти и газа.

3. Пространственно-временная дифференциация техногенного воздействия на земли муниципальных районов. Техногенная нагрузка на ландшафты районного уровня при разработке нефтегазовых месторождений складывается из совокупного воздействия множества факторов. Выделить, оценить эти факторы, определить их влияние на результирующий признак – общий уровень техногенной трансформации ландшафтов позволяют методы картометрической визуализации и эмпирико-статистической обработки геоданных. Совокупность исследуемых показателей нагрузки разбивают на качественно однородные группы одновременно по нескольким

признакам и определяют на их основе связи и влияния факторных признаков. Группы – обобщенные факторы трансформации ландшафтов – формировались следующим образом: I – «количественная характеристика объектов нефтегазодобычи», II – «качественная характеристика объектов месторождений», III – «непосредственные нарушения в ландшафтах», IV – «степень возможных опасностей» (методика по: Мячина, Дубровская, 2009). В конечном итоге были получены оценки вклада факторов однородного воздействия в общий уровень техногенной трансформации ландшафтов нефтегазодобывающих муниципальных районов (рис. 18).

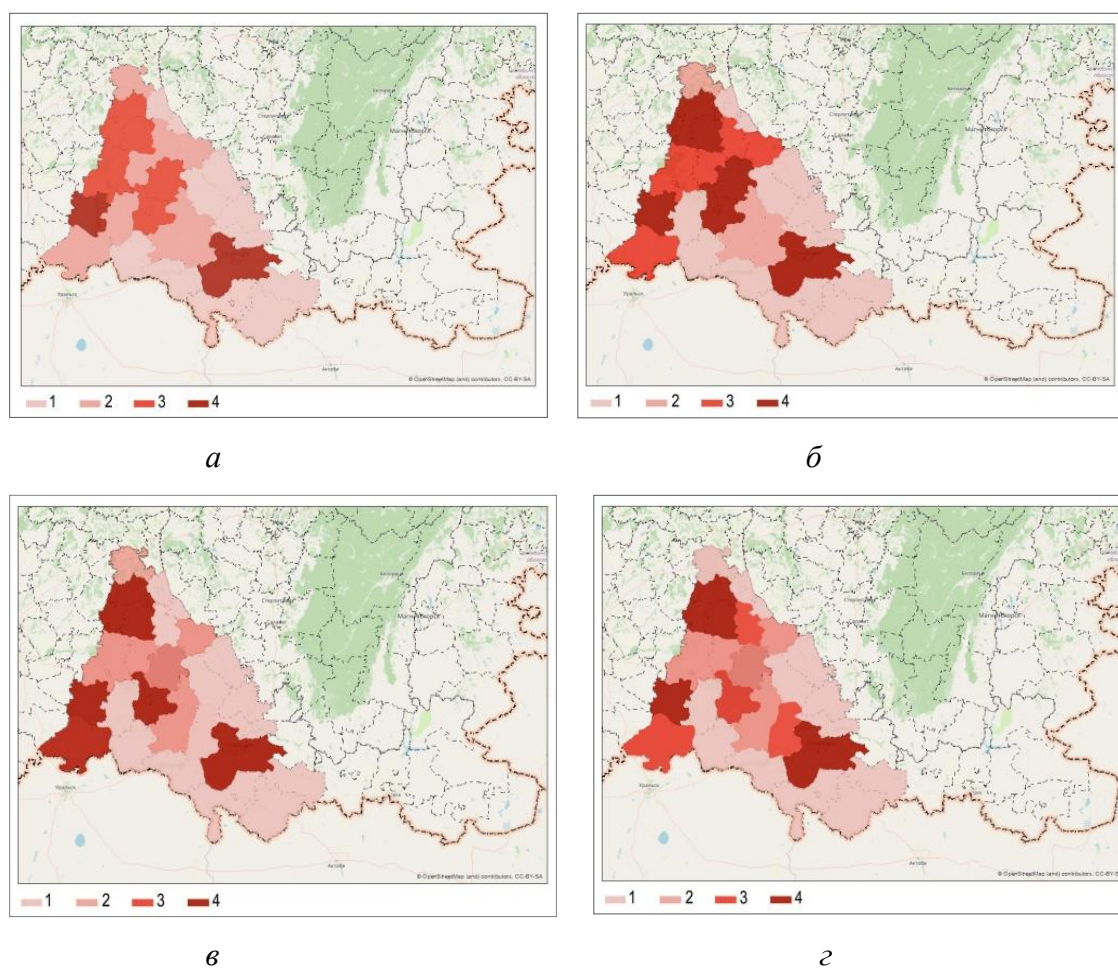


Рисунок 18 – Пространственно-временная дифференциация муниципальных районов Оренбургской области: *а)* по общему уровню техногенной трансформации ландшафтов, *б)* по вкладу количественных показателей группы I в общий уровень трансформации ландшафтов, *в)* по вкладу качественных показателей группы II, *г)* по вкладу показателей нарушенности ландшафтов группы III, в которой 1 – слабый уровень трансформации, 2 – средний, 3 – сильный, 4 – максимальный.

Предложенный подход позволил выявить структуру и основные показатели и факторы техногенного воздействия на ландшафты в районах нефтегазодобычи, которые должны учитываться при разработке стратегии оптимизации и рекомендаций по обеспечению геоэкологической безопасности муниципальных образований.

4. Учет критического порогового значения нарушенных нефтегазодобычей земель в границах пашни, при превышении которого вероятность вывода полей из оборота приближается к 100%. По результатам анализа 62-х полей сельскохозяйственного назначения на участках Мухановского (ключ. уч-к №5), Росташинского (ключ. уч-к №8), Боголюбовского, Кодяковского и Бaleyкинского (ключ. уч-к №11) нефтегазовых месторождений выявлено, что заброшенные поля появляются уже на стадии начального воздействия нефтегазопромысла, когда площади нарушенных земель в границах поля составляют лишь 1% от его общей площади. Число действующих и заброшенных полей варьирует, не выявляя каких-либо общих закономерностей, пока диапазон нарушенных земель составляет 1-5%. Как только показатель нарушенных земель достигает 6%, поле, как правило, выводится из оборота (табл. 4).

Таблица 4 – Совокупная доля нарушенных нефтегазодобычей земель на действующих и заброшенных полях сельскохозяйственного назначения ключевых участков №5, №8, №11 Самарской и Оренбургской областей.

Площадь нарушенных нефтегазодобычей земель в пределах одного поля, %	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7-8%	>10%	>20%
Действующие поля, кол-во	12	2	4	2	1	0	0	0	0
Заброшенные поля, кол-во	8	9	7	3	5	4	3	2	2

На пороговое значение влияет множество локальных и региональных факторов, требующих дальнейшего изучения, поэтому пороговая величина должна корректироваться с учетом конкретных условий местности. Учет порогового показателя направлен на поиск баланса между конфликтными отраслями природопользования: нефтегазодобычей и сельскохозяйственным производством. Для степных районов распространения плодородных черноземов этот прием особенно значим, и его соблюдение, в идеале, должно стать нормой федерального земельного и экологического законодательства.

Основой развиваемой геоэкологической концепции оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи (Мячина, Краснов, 2018) является приоритет экологической составляющей в системе отношения «техногенная нагрузка на ландшафт – меры по его сохранению и восстановлению». Для реализации этой концепции предлагается руководствоваться тремя основными принципами: 1) уникальности (специфичности) объекта оптимизации – предлагаемые решения должны быть максимально конкретизированы с учетом специфических условий трансформируемой местности; 2) геоинформационной обеспеченности и эколого-правовой обоснованности принимаемых решений, 3) их социально-экологической и экономической эффективности на различных уровнях государственного и муниципального управления.

Заключение

Комплексный геоэкологический анализ трансформации ландшафтов степной зоны в условиях нарастающих темпов и масштабов нефтегазодобычи, концептуальные и аналитические подходы, реализованные автором, определили значимость опережающего прогноза последствий разработки нефтегазовых месторождений, сокращения и ликвидации проблемных зон и ареалов, выбора путей оптимизации трансформируемых ландшафтов. На примерах нефтегазопромыслов России и США автором предложен и апробирован комплекс сопряженных методов геоэкологического анализа, картографирования, моделирования и типологизации нефтегазоносных ландшафтов с использованием ГИС-технологий и геоданных, в том числе – данных дистанционного зондирования.

Сопряженное использование геосистемного и геоситуационного подходов позволило оценить геоэкологическое состояние степных ландшафтов нефтегазовых месторождений на разных стадиях техногенной трансформации – от стадии планирования разработки залежей до стадии ликвидации нефтегазопромысла. В основу оценки последовательно изменяющихся геоэкологических ситуаций положены прогнозные сценарии развития трансформируемых ландшафтов, а в обоснование системы их оптимизации – региональный геоэкологический анализ. Основные методологические принципы – системность, каузальность, пространственно-временная полимасштабность проявления природных и техногенных факторов трансформации ландшафтов, выделение и классификация геоэкологических проблем, включая социально-экологические и эколого-правовые, выстраивание перспективных направлений оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазодобывающего природопользования.

Полимасштабные эффекты воздействия нефтегазодобычи на степные ландшафты на фоне обостряющихся эколого-социально-экономических вызовов общецивилизационного характера выявлены на всех уровнях организации природно-общественных отношений: локальном, региональном, глобальном. Полимасштабность трансформационных процессов в отраженном свете проявилась в социально-экономических характеристиках развития территориальных образований, характеризующихся ухудшением геоэкологической ситуации, зачастую не компенсируемым значимыми социально-экономическими преимуществами.

Нарушенные земли Волго-Уральского степного региона расширяются за счет свободного увеличения ареалов техногенного воздействия и могут достигать 5 км²/100 км². Фрагментация ландшафтов степной зоны возрастает более чем в 8 раз в период наиболее интенсивной разработки месторождения по сравнению с их исходным состоянием. В районах с высоким уровнем техногенного воздействия нефтегазодобычи снижена средняя многолетняя численность индикаторных степных видов млекопитающих (сурка, сибирской косули, зайца-русака). Функционирование нефтегазопромыслов ускоряет ход эрозионных процессов; в эрозионно опасных зонах Волго-Уральского степного региона размещено более 10% объектов нефтегазопромыслов. Негативному воздействию геохимического и механического загрязнения, а также вероятности изменения режима поверхностного стока подвергаются 78% водных объектов

региона исследования. Вблизи действующих факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа в радиусе от 30 до 350 м в среднем на 8° происходит повышение температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы. Сельскохозяйственные угодья подвергаются повышенному риску вывода из оборота – потери местами достигают 20% используемых под пашню земель.

Перестройка системы первичных ландшафтных связей в условиях нефтегазодобычи приводит к разрушению их исходной структуры. Формируется новая целостность – природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения. Она обладает эмерджентными свойствами, основной принцип ее формирования и развития – стадийность. Каждой стадии соответствует определенный уровень техногенного изменения структурной организации исходного ландшафта и функционально-динамических связей компонентов. Функционирование природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения эквивалентно и происходит за счет стадийно-последовательной смены природного ландшафтного инварианта природно-техногенным.

На основе представленной модели развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения и типологизации трансформированных ландшафтов сформулированы концептуальные направления их оптимизации. Наиболее эффективное направление оптимизации увязывается со снижением объема и количества входящих техногенных вещественно-энергетических потоков. Полимасштабность воздействия и трансформационных процессов позволяет допустить, что оптимизация ландшафтов на низшем уровне иерархии природно-техногенной геосистемы может активизировать этот процесс и на более высоких иерархических уровнях, смягчая остроту геоэкологических проблем.

Предложенная базовая платформа оптимизационных действий разработана для этапов планирования нефтегазодобывающего производства, функционирования природно-техногенной геосистемы (с учетом стадийности ее развития), окончания разработки и ликвидации объектов нефтегазопромысла. Принципиальное решение усматривается в полимасштабном зонировании вплоть до уровня отдельных хозяйств и предприятий, с учетом геоэкологического обоснования приоритетности ландшафтных местоположений объектов нефтегазопромысла, лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов, пространственно-временной дифференциации техногенного воздействия на уровне административных образований, выявления порогового значения нарушенных земель в границах сельскохозяйственных угодий и пр. Практическая реализация оптимизационных подходов и мер способна многократно снизить негативные последствия трансформации ландшафтов.

Основные публикации автора по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых WoS

1. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А. Анализ теплового загрязнения ландшафтов Волго-Уральского степного региона в связи с разработкой нефтяных месторождений // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2020. Т. 492, № 1. С. 94-99. = **Myachina K.V.**, Chibilev

A.A. Analysis of Thermal Pollution of Volga–Uralian Steppe Landscapes Caused by Exploitation of Oil Deposits // *Doklady Earth Sciences*, 2020. Т. 492 (1). С. 366-369.

2. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А., Дубровская С.А. Степные ландшафты Урало-Заволжья в условиях нефтегазодобычи: оценка прямых геоэкологических последствий и проблемы их минимизации // Доклады Академии наук. Науки о Земле, 2017. Т. 474, № 6. С. 741–745. = **Myachina K.V.**, Chibilev A.A. & Dubrovskaya S.A. Steppe Landscapes of the Ural–Volga Region in Response to Oil and Gas Production: Evaluation and Minimization of Direct Geoecological Aftereffects // *Doklady Earth Sciences*, 2017. Т. 474 (2). С. 709-712.

3. **Мячина К.В.**, Чибилев А.А. Выявление земель, нарушенных нефтедобычей, по результатам спектральных преобразований спутниковых изображений (на примере Оренбургского Заволжья) // География и природные ресурсы, 2015. №4. С. 135-141 = **Myachina K.V.**, Chibilev A.A. Use of satellite data to identify steppe lands of the Orenburg Trans-Volga Region disturbed by oil development // *Geography and Natural Resources*, 2015. Т. 36 (4). С. 383-388.

Статьи в международных журналах, индексируемых WoS

4. **Mjachina Ksenya V.**, Baynard Chris W., Chibilyev Alexander A., Richardson Robert D. Landscape disturbance caused by non-renewable energy production in a semi-arid region: a case study on the Russian steppe // *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2018. Т. 25 (6). С. 541-553.

5. **Mjachina Ksenya**, Hu Zhiyong, Chibilyev Alexander. Detection of damaged areas caused by the oil extraction in a steppe region using winter Landsat imagery // *Journal of Applied Remote Sensing*, 2018. Т.12 (1). С. 1-14.

6. Baynard C. W., **Mjachina K.**, Richardson R. D., Schupp R. W., Lambert J. D., Chibilyev A. A. Energy Development in Colorado’s Pawnee National Grasslands: Mapping and Measuring the Disturbance Footprint of Renewables and Non-Renewables // *Environmental Management*, 2017. Т. 59 (6). С. 995-1016.

7. **Mjachina Ksenya V.**, Baynard Chris W., Chibilyev Alexandr A. Oil and gas development in the Orenburg region of the Volga–Ural steppe zone: qualifying and quantifying disturbance regimes // *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2014. Т. 21 (2). С. 111 – 126.

8. Pazur R., Prishchepov A., **Myachina K.**, Verburg P.H., Levykin S.V., Ponkina E.V., Kazachkov G.V., Dr.; Yakovlev I. Akhmetov R., Rogova N., Bürgi M. Restoring steppe landscapes: patterns, drivers and implications in the steppe landscapes of Russia // *Landscape Ecology*, 2020. Т. 30 (2). С. 407-425.

Статьи в международных сборниках конференций, индексируемых WoS и/или Scopus

9. **Myachina K.V.**, Ryabuha A.G. Trends of disturbance of Volga-Ural steppe landscapes in oil-and-gas production and approaches to land use optimisation solutions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. 381: 012066.

10. Grudin D.A., **Myachina K.V.** Dynamics of steppe arable land in zones of oil fields development (Orenburg region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. 941: 012005.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

11. **Мячина К.В.**, Дубровская С.А., Ряхов Р.В. Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны // Региональные геосистемы, 2020. Т. 44 (3). С. 283–294.

12. **Мячина К.В.**, Краснов Е.В. Концепция сбалансированного недропользования в степной зоне Волго-Уральского региона // Проблемы региональной экологии, 2018. №4. С. 74-82.

13. **Мячина К.В.**, Дубровская С.А. Трансформация степных ландшафтов и проблемы рационального природопользования в условиях нефтегазодобычи // Известия Саратовского университета, 2018. №4. С. 222-227.

14. Барбазюк Е.В., **Мячина К.В.** Влияние нефтегазодобычи в степной зоне на численность некоторых видов млекопитающих (на примере Оренбургского Приуралья) // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2018. №3. С. 66-72.

15. **Мячина К.В.**, Дубровская С.А. Степная зона Урало-Заволжья в условиях техногенного воздействия: пути оптимизации природопользования с учётом ландшафтной структуры // Использование и охрана природных ресурсов в России: научно-информационный проблемно-аналитический бюллетень, 2017. №3 (151). С. 12-17.

16. **Мячина К.В.** Выбор индикаторов эколого-экономической безопасности степных территорий нефтегазодобычи // Вестник ОГУ, 2017. №12 (212). С. 60-64.

17. **Мячина К.В.** Исследование динамики ландшафтной структуры нефтедобывающих территорий степной зоны Предуралья с применением ГИС-технологий на основе спутниковых данных // Геоинформатика, 2016. №2. С. 2-13.

18. Калмыкова О.Г., **Мячина К.В.**, Вельмовский П.В. О растительном покрове в зоне влияния точечных объектов нефтегазодобычи (на примере Оренбургской области) // Вестник Оренбургского государственного университета, 2015. №10. С. 396-400.

19. **Мячина К.В.** К анализу трансформации степных ландшафтов в зонах нефтедобычи на основе данных дистанционного зондирования // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2015. №6 (56). С. 180-183.

20. **Мячина К.В.**, Токарева О.С. Геоэкологический анализ степных ландшафтов в районах нефтегазодобычи (на примере Оренбургской области) // Известия Томского политехнического университета, 2014. Т. 324 (1). С. 196-202.

21. Чибилёв А.А., **Мячина К.В.**, Дубровская С.А. Техногенное воздействие на ландшафты степной зоны: типизация, последствия, ограничения // Проблемы региональной экологии, 2014. №6. С. 20-26.

22. **Мячина К.В.**, Малахов Д.В. Опыт применения данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения для выделения объектов нефтепромыслов

- в условиях техногенно-модифицированного ландшафта (на примере Оренбургской области) // Известия Самарского научного центра РАН, 2013. Т.15, №3 (7). С. 2341-2345.
23. Яковлев И.Г., **Мячина К.В.** Идентификация зон геоэкологической напряженности в Оренбургской области // Известия Самарского научного центра РАН, 2013. Т.15, №3 (1). С. 546-548.
24. **Мячина К.В.** Анализ региональных экологических рисков (на примере Оренбургской области) // География и природные ресурсы, 2012. №2. С. 129-135.
25. **Мячина К.В.** Устойчивость и геоэкологическая напряжённость ландшафтов степной зоны Заволжья и Урала // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2011. №1. С. 105-110.
26. Чибилёв А. А., **Мячина К.В.**, Павлейчик В.М. Экологические риски на территории Оренбургской области // Проблемы региональной экологии, 2010. №1. С. 129-136.
27. **Мячина К.В.**, Дубровская С.А. Оценка трансформации ландшафтов нефтегазодобывающих районов Оренбургского Приуралья на основе применения статистических методов // Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 2009. №3. С. 58-65.
28. Каверина С. А., **Мячина К.В.** Почвенный аспект при оценке и прогнозе геоэкологического состояния ландшафтов, загрязненных нефтепродуктами (на примере Оренбургской области) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2008. №1. С. 83-87.
29. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А. Геоэкологические особенности нефтегазодобывающих районов Оренбургского Приуралья // Проблемы региональной экологии, 2006. №4. С. 11-20.
30. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А. Геоэкологическое районирование нефтегазоносной территории Оренбургской области // Поволжский экологический журнал, 2005. №2. С. 147-157.
- Монографии и разделы в монографиях*
31. **Мячина К.В.** Геоэкологические аспекты оптимизации степных ландшафтов в условиях разработки нефтегазовых месторождений. М.: Медиа-Пресс, 2020. 216 с.
32. Чибилёв А. А., **Мячина К. В.** Геоэкологические последствия нефтегазодобычи в Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 132 с.
33. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А., Дубровская С.А. Техногенное воздействие на ландшафты степной зоны: типизация, последствия и ограничения // Проблемы геоэкологии и степеведения: Развитие научной школы в Институте степи УрО РАН. Т.IV. Оренбург: ИС УрО РАН, 2015. С. 119-127.
34. **Мячина К.В.**, Чибилёв А.А. Индикация геоэкологического состояния ландшафтов нефтегазодобычи в степных регионах на основе данных дистанционного зондирования // Проблемы геоэкологии и степеведения: Развитие научной школы в Институте степи УрО РАН. Т. IV. Оренбург: ИС УрО РАН, 2015. С. 127-142.

Иные значимые публикации (РИНЦ)

35. **Мячина К.В.** О техногеосистемах нефтегазовых месторождений в степной зоне (Оренбургская область) // Материалы международной научно-практической конференции «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования», посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова. Иркутск, 2019. С. 520-523.

36. **Мячина К.В.** Нарушенные нефтегазодобычей земли Южного Приуралья: динамика и прогноз // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды VII Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2019. С. 190-194.

37. **Мячина К.В.** Подходы к решению геоэкологических проблем степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи // В сборнике: География и современные проблемы географического образования материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Почетного члена Русского Географического Общества, доктора географических наук, профессора Василия Ивановича Прокаева. Екатеринбург, 2019. С. 116-121

38. **Мячина К.В.** Особенности воздействия объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры на подзональные ландшафты Волго-Уральского степного региона // Бюллетень Оренбургского научного центра: электронный журнал, 2019. №4. С. 1-8.

39. **Мячина К.В.** Нарушенные земли – преобладающий показатель трансформации ландшафтов Южного Приуралья в районах нефтегазодобычи // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : материалы XIII Международной ландшафтной конференции. Воронеж, 2018. Т. 2. С. 95-96.

40. **Мячина К.В.** К методике оценки геоэкологического состояния степных ландшафтов нефтяного недропользования с применением спутниковых данных // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды IV Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: Уральский госуд. горн. унив-т, 2016 . С. 206-212.

41. **Мячина К.В.** К проблеме взаимодействия объектов нефтегазопромыслов с уникальными природными объектами // Проблемы и стратегия сохранения аридных экосистем Российской Федерации: сборник научных статей. Ахтубинск: Царицын, 2008. С. 110-112.

42. **Мячина К.В.** К изучению состояния водных объектов в зоне влияния нефтепромыслов (на примере Оренбургской области) // Природа Европейской России: исследования молодых ученых: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Чебоксары, 2007. С. 156-158.

43. **Мячина К.В.** Краткий географический и ландшафтно-типологический анализ размещения нефтегазовых месторождений на западе Оренбургской области // Всероссийская научная конференция «Современные глобальные и региональные изменения геосистем»: сб. докладов. Казань, 2004. С. 197-198

44. **Мячина К.В.** Историко-географические особенности развития нефтегазодобычи в Оренбургской области // Вопросы истории и археологии Западного Казахстана, 2007. №2. С. 129-134.