

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Оренбургский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения Российской академии наук  
Институт степи  
Уральского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

Мячина Ксения Викторовна

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора географических наук

Оренбург

2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Теоретико–методологические основы исследования	14
1.1. Проблематика ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи	14
1.2. Опыт изучения проблемы, исходные концепции	24
1.3. Алгоритм регионального геоэкологического анализа, методы и подходы, понятийно-терминологическая база	33
Выводы по главе 1	42
Глава 2. Географическая полимасштабность техногенной трансформации ландшафтов	43
2.1. Полимасштабная структура трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса	43
2.2. Специфика размещения и освоения нефтегазовых месторождений мира и России	46
2.3. Особенности размещения и освоения нефтегазовых месторождений Волго-Уральского степного региона и ключевых участков исследования	51
2.4. Социально-экономическая ситуация в районах нефтегазодобычи в аспекте развития трансформированных ландшафтов	58
2.5. Влияние природно-географических условий на формирование трансформированных ландшафтов	78
2.6. Общее и особенное техногенной трансформации ландшафтов, источники и виды воздействия	86
Выводы по главе 2	95
Глава 3. Закономерности техногенной трансформации ландшафтов	96

3.1. Тенденции развития нарушенных земель на ключевых участках исследования	96
3.2. Выявление нарушенных земель по данным дистанционного зондирования	102
3.3. Динамика фрагментации ландшафтов	109
3.4. Изменение биоразнообразия	113
3.5. Развитие эрозии почв	119
3.6. Последствия нефтегазодобычи для водных объектов	131
3.7. Образование очагов тепловых и газохимических аномалий	138
3.8. Динамика площади пашни в районах нефтегазодобычи	144
Выводы по главе 3	151
Глава 4. Природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения	152
4.1. Формирование природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения	152
4.2. Принципы функционирования	155
4.3. Основные характеристики и свойства	158
Выводы по главе 4	166
Глава 5. Оптимизация ландшафтов степной зоны в условиях разработки нефтегазовых месторождений	167
5.1. Стратегия оптимизации ландшафтов	167
5.1.1. Проблематика оптимизации	167
5.1.2. Направления и принципы оптимизации	173
5.1.3. Этапы и стадии оптимизации	177
5.1.4. Сценарии развития геоэкологической ситуации	183
5.2. Практические возможности оптимизации	188
5.2.1. Классификация ландшафтных местоположений по	

степени приоритетности для размещения объектов нефтегазопромыслов	188
5.2.2. Выделение лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов	190
5.2.3. Пространственно-временная дифференциация техногенного воздействия и ее значение для оптимизации ландшафтов	194
5.2.4. Учет порогового значения нарушенных нефтегазодобычей земель в границах пашни	200
5.3. Геоэкологическая концепция оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях добычи нефти и газа	202
Выводы по главе 5	210
Заключение	211
Список литературы	219
Приложения	263
Приложение 1. Глобальная географическая полимасштабность обеспеченности запасами и добычи нефти и газа в странах мира	263
Приложение 2. Основные технологические операции нефтегазодобычи	265
Приложение 3. Виды и характеристика отходов нефтегазодобычи	269
Приложение 4. Характеристика и результаты применения спектральных преобразований спутниковых снимков Ландсат для выявления нарушенных земель	275

## ВВЕДЕНИЕ

**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 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 эквививальности 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.

#### **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.

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.

3. Глобализация, эквифинальная 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.

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.

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.

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

**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», «эквивифинальность 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 км<sup>2</sup>, включающей 25 нефтегазовых месторождений, а также в степной нефтегазоносной части штата Колорадо (США), где площадь исследования превысила 2000 км<sup>2</sup>. 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.

# ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО – МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Проблематика трансформации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи

Равнинные пространства с преобладанием травяной растительности, неравномерной обводненностью, относительной засушливостью и контрастностью сезонов представлены на большинстве континентов. Находясь в динамичном контакте с прилегающими территориями, в первую очередь лесами и пустынями, степи сформировались как зональный тип ландшафта с семиаридным климатом, сохраняющий срединное положение в эколого-географической структуре материков (Чибилёв, 1997). Классическое развитие степи умеренного пояса получили в Евразии и Северной Америке. В континентальной части Евразии степная зона охватывает площадь протяженностью около 9000 км и шириной от 150 до 600 км. Образуя изолированный ареал на Среднедунайской равнине Центральной Европы, степная зона продолжается в виде сплошного пояса от Причерноморья до Алтая (Чибилёв, 2014; Walter и Breckle, 1989).

К настоящему времени в мире открыто около 35 тыс. месторождений нефти и газа, более четверти которых размещены в пределах степной и аналоговых зон материков (рис. 1). В степной зоне России сосредоточена большая часть месторождений Волго-Уральской, Прикаспийской и Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносных провинций (рис. 2).

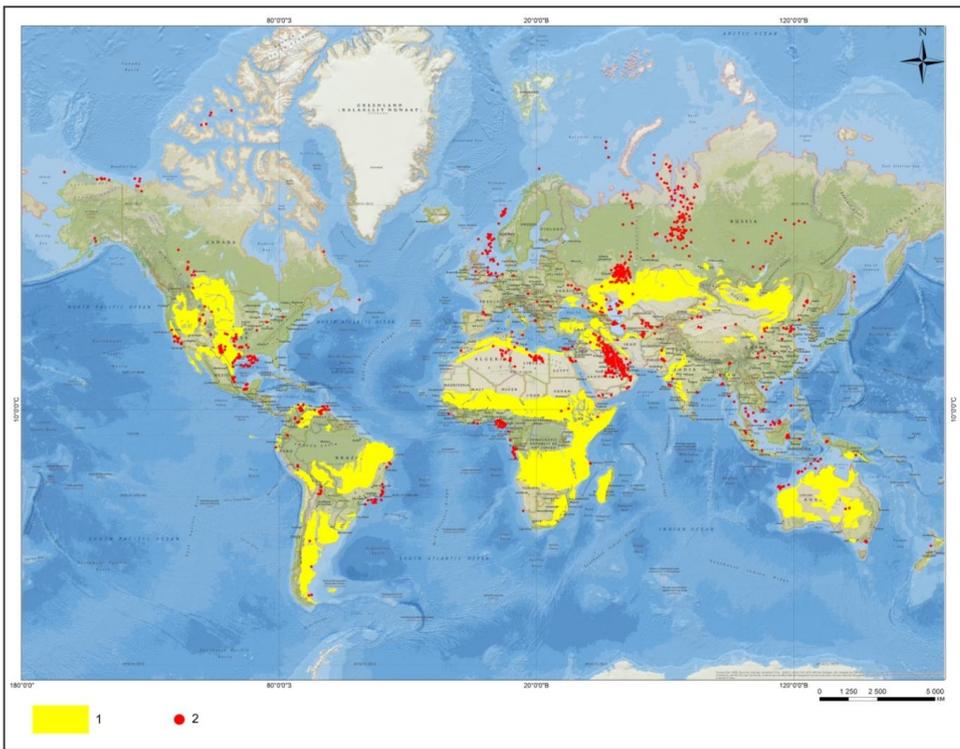


Рисунок 1. Глобальная неравномерность распределения нефтегазовых месторождений мира: 1 - степные и аналоговые зоны материков, 2 - месторождения нефти и газа.

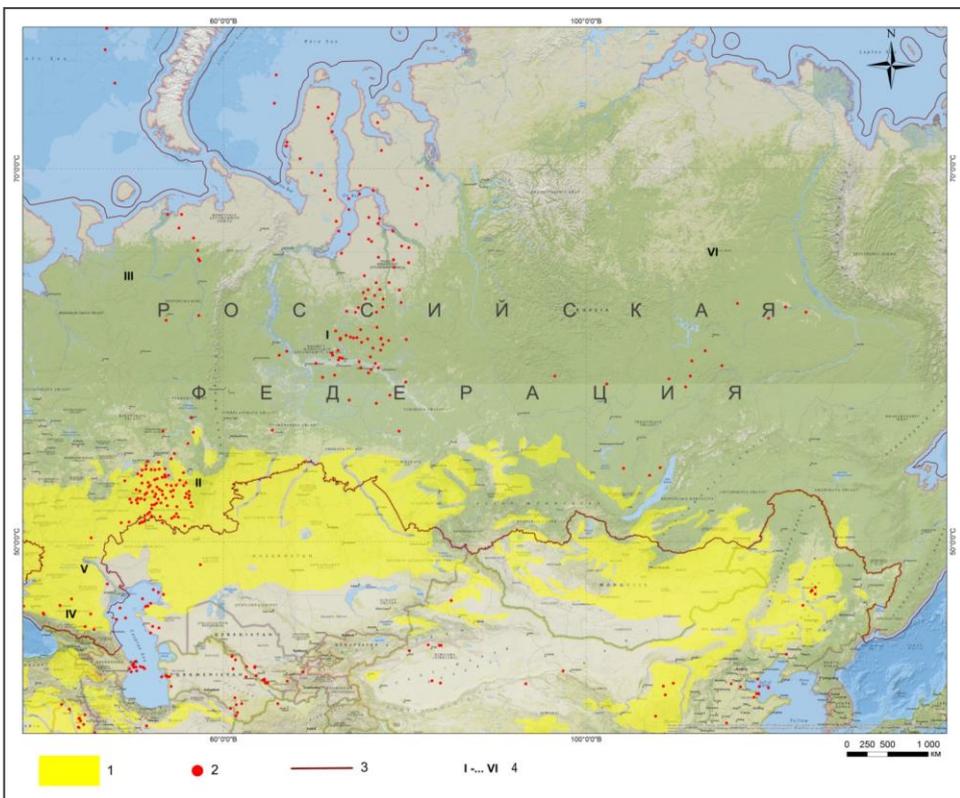


Рисунок 2. Распределение нефтегазовых месторождений России: 1 - степная зона, 2 - месторождения нефти и газа, 3 - граница России, 4 - основные

нефтегазоносные провинции суши: I - Западно-Сибирская, II - Волго-Уральская, III - Тимано-Печорская, IV - Северо-Кавказско-Мангышлакская, V - Прикаспийская, VI - Восточно-Сибирская.

Освоение нефтегазовых залежей на степных территориях берет начало в XIX в., что предполагает значительный объем накопленной техногенной нагрузки и симптоматичный вариативный ряд трансформированных ландшафтов. Особенно показательна в аспекте репрезентативности степная часть Волго-Уральской нефтегазоносной провинции - Волго-Уральский степной регион, определенный в качестве основной территории исследования. Объемы добываемого сырья и огромное количество эксплуатируемых в Волго-Уральском степном регионе месторождений - более 200 - предполагают масштабность техногенного воздействия и наличие существенных структурных преобразований ландшафтов (рис. 3).

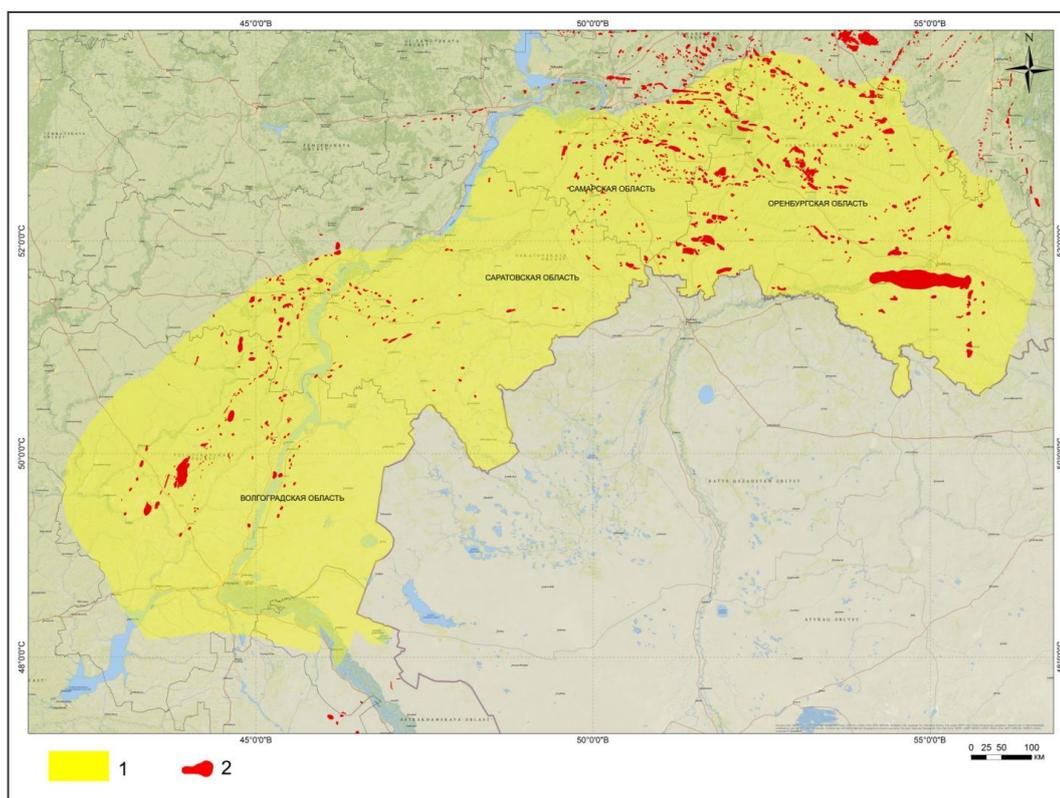


Рисунок 3. Полимасштабность распределения и размеров нефтегазовых месторождений Волго-Уральского степного региона: 1 – степная зона, 2 - ареалы

нефтегазовых месторождений (на основе открытых данных Федерального агентства по недропользованию «Роснедра»).

Согласно действующему законодательству, участки, предоставляемые для разработки месторождений нефти и газа, не выделяются в отдельную целевую категорию земельного фонда России и могут находиться на землях сельскохозяйственного и промышленного назначений, лесного и водного фондов, изымаемых на время из оборота. В соответствии с лицензией, недропользователю предоставляется в пользование участок недр в виде горного отвода, а в аренду - земельный отвод. Недропользование в этом случае является ведущим по отношению к землепользованию: необходимость в земельном участке возникает только в связи с тем, что в пользование предоставляются недра, то есть землепользование направлено на создание условий для осуществления права недропользования.

Правовой режим использования недр, а также земель, предоставленных для разработки недр, регулируется Федеральным законом от 21.02.92 № 2395-1 «О недрах» (ред. от 31.05. 2020 г.), «Земельным кодексом Российской Федерации» от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 18.03.2020 г.), Федеральным законом от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 01.07.2020 г.), иными федеральными законами и нормативно-правовыми актами РФ и ее субъектов.

Процесс предоставления земельного участка в пользование состоит из нескольких стадий: получение лицензии, дающей право на предоставление недр в пользование; выделение горного отвода; предоставление земельного отвода; его государственная регистрация; утверждение проекта рекультивации земель. Несмотря на исключительную важность земельных отводов, законодательство, формирующее правовой режим участков, предназначенных для целей недропользования, регулирует данные отношения фрагментарно и не создает единой системы правового регулирования (Жаворонкова и др., 2016).

С правовыми пробелами и постоянными изменениями законодательной базы в части природопользования (например, только в ФЗ «Об охране

окружающей среды» изменения вносились более 40 раз с момента его существования) зачастую связано вольное и бесхозяйственное отношение недропользователей к предоставленным в их распоряжение участкам. В случае, когда земля принадлежит одному субъекту, а сооружения, построенные на ней — другому, может возникнуть социально-экономическая напряженность между субъектами, сопровождаемая случаями безответственного отношения к земельным ресурсам.

Значительное влияние на формирующуюся у недропользователя позицию относительно экологических аспектов освоения недр оказывает тот факт, что в российском законодательстве нет утвержденных методических рекомендаций по компенсации убытков при изъятии земель у собственников. Четко не прописана процедура изъятия земельного участка, находящегося над недрами, у его собственника в пользу недропользователя, отсутствует обоснование финансовой составляющей, на основе которой происходит изъятие (Безродный, 2009). Эти и другие подобные моменты обесценивают в глазах недропользователя передаваемые ему площади, снижают мотивацию к предотвращению и компенсации экологического ущерба.

Одним из обязательных условий предоставления горного отвода для разработки месторождений нефти и газа должно являться обеспечение ведения экологического мониторинга, который организуется и финансируется недропользователем. В большинстве случаев, производственный экологический мониторинг ограничивается установлением состава и концентрации загрязнителей, а также динамикой их накопления за определенный период наблюдений (Безродный, 2009). При согласовании проектов и принятии решений в большинстве случаев демонстрируется малозначительность экологических разделов предпроектной, проектной, строительной документации, ведомственная направленность результатов и формальность исследований. Действующие на данный момент нормативы и требования, на основе которых должны выполняться экологические разделы, нередко игнорируются в угоду увеличению, упрощению и удешевлению добычи сырья.

Проблемы реальной эффективности разделов по оценке воздействия на окружающую среду в производственной документации всех уровней обсуждались еще в 1998 г. в тематической монографии Н.П. Солнцевой (1998). Речь шла о формальности указанных разделов, об их недостаточности для истинной экологизации производства. К сожалению, ситуация с тех пор мало изменилась, и на данный момент проблема «декоративной» роли экологических составляющих при проектировании и функционировании производственных объектов приобрела масштабный характер и вышла на государственный уровень. В докладе, представленном от Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, было отмечено, что «в каждом случае владельцы предприятий, которые намереваются производить добычу и переработку сырья, каким-то образом получили положительные заключения природоохранных и надзорных служб, службы по обеспечению здоровья и благополучия населения, выданы положительные заключения Главэкспертизы и т.д.» (Доклад первого заместителя..., 2016). Неэффективные модели разработки и использования экологических разделов проектной и строительной документации и более чем лояльное отношение контрольно-надзорных органов к компаниям-недропользователям стоят в ряду основных причин ухудшения геоэкологического состояния ландшафтов в регионах нефтегазодобычи.

Значительным недостатком используемых подходов к геоэкологической оценке последствий нефтегазодобычи является их унификация. Как правило, не учитываются ведущие факторы дифференциации ландшафтов, такие, как географическая зональность и связанные с ней специфические характеристики ландшафтов. Например, расстояние проектируемого объекта от водных объектов рассчитывается с учетом их категоричности, при этом водные объекты даже рыбохозяйственного значения подвергаются риску загрязнения и эвтрофикации, так как могут находиться менее чем в 100 м от объектов нефтегазопромысла. На фоне возрастающего мирового дефицита пресной воды было бы разумно корректировать ценность водоемов и водотоков для степных маловодных территорий, рассматривая каждый водный объект с позиции минимизации

влияния, с учетом тяжести возможных последствий техногенного воздействия. Проблема сохранения водной среды, недоучета специфики природно-климатических зон при утверждении предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах актуальна не только для степной зоны, но и для других территорий - например, таежных районов (Московченко, 2010).

Острейшая проблема деградации земель в семиаридных и аридных регионах объединяется Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием термином «опустынивание». Принято считать, что процессы деградации включают сокращение биоты, водную и ветровую эрозии, засоление и уплотнение почвенного слоя, истощение питательных веществ почвенно-растительных сообществ (Hassan и др., 2005). В пределах ландшафтов нефтегазовых месторождений наблюдаются все вышеуказанные процессы, обнаруживаются глубокие, часто необратимые изменения ландшафтных компонентов. На данный момент реальность в нефтегазодобывающей отрасли такова, что, независимо от периода эксплуатации месторождения, глубины и многообразия техногенного воздействия, проводимых рекультивационных мероприятий ландшафты выработанных и ликвидированных нефтегазопромыслов не возвращаются к своему исходному состоянию. После вывода из эксплуатации объектов месторождений неотъемлемыми составными частями затронутого ландшафта становятся элементы нефтегазопромысловой экспансии - конструкции ликвидированных скважин, шламонакопителей, заброшенные подъездные пути, нарушенные земли. С геоэкологической точки зрения результат нефтегазодобычи будет в подавляющем большинстве случаев неизменным: трансформированные ландшафты, не вернувшиеся к своему исходному состоянию. Таким образом, можно говорить о так называемой эквифинальности, то есть равнозначном для ландшафтов завершении процесса нефтегазодобычи.

Несмотря на все геоэкологические проблемы, нефть и газ являются важнейшими ресурсами, поэтому их добыча необходима и экономически обусловлена. Однако «заточенность» компаний-недропользователей лишь на финансовые выгоды, стремление максимизировать прибыль в ущерб

благоприятной геоэкологической ситуации неизбежно приводит к снижению экологической и социально-экономической составляющих качества жизни населения на всех уровнях территориальной иерархии. Масштабы оказываемого воздействия колоссальны, площадь нашей планеты относительно невелика, поэтому экологическая составляющая любого вида масштабной производственной деятельности рано или поздно начинает играть существенную роль в развитии геоэкологической и социально-экономической ситуации на всех уровнях - экономика, окружающая среда и социум являются связанными системами.

Экологическая политика, экологизированная направленность административно-управленческих решений подразумевает не только совершенное природоохранное законодательство, своевременную и адекватную нормативно-правовую базу, экономические стимулы и административно-уголовные меры принуждения для нарушителей экологического законодательства, но и экологизацию общества, экокультуру, экопросвещение, экологическую компетентность руководителей и специалистов хозяйствующих субъектов, чиновников всех уровней государственного и муниципального управления (Залиханов, Степанов, 2010). Как показала практика последних лет, попытки снизить негативное влияние нефтегазодобывающих компаний на ландшафты и социум исключительно путем ужесточения экологических нормативов, требований и ответственности за экологические правонарушения не приводят к желаемому результату, вызывая лишь отрицание и противодействие со стороны недропользователей. Получили распространение такие действия, как обращения к правительству РФ с просьбами устранить «излишнее» экологическое регулирование в отрасли (Нельзя позволять нефтяному бизнесу..., 2015; Главы пяти нефтяных компаний..., 2015), замалчивание на локальном и региональном уровнях информации об авариях и инцидентах, осуществление противоправных экологических действий в ночное время, когда у населения нет возможности вызова контролирующих служб. Очевидно, что без разработки специальных мер стимулирования недропользователей к внедрению современных экологических

стандартов, мер повышения экологической сознательности и ответственности населения в целом и задействованных лиц в частности добиться желаемого результата вряд ли возможно.

Снижение техногенной нагрузки на ландшафты, ее контроль и регулирование - не столько проблема научных разработок и достижений в области экологических технологий, сколько - общественного самосознания и расстановки приоритетов. Разработанные и разрабатываемые пути предотвращения и снижения нагрузки, восстановления ландшафтов могут быть полноценно внедрены и принести желаемый эффект только в случае смены экологического сознания общества, что обеспечит необходимую комплексность и системность подходов к оптимизации ландшафтов. Подобная траектория развития отрасли может быть связана, прежде всего, с формированием геоэкологической концепции оптимизации ландшафтов, в основе которой - геоэкологическая безопасность и исключение геоэкологических проблем в отраслях производства. В случае успешного «встраивания» отрасли в территориальную структуру хозяйства на локальном и региональном уровнях происходят позитивные изменения в социально-экономической ситуации территориального образования на фоне минимальных геоэкологических неудобств. Подобный подход, соответствуя уровню развития цивилизации XXI века - информационному обществу, поможет избежать глобальной геоэкологической катастрофы.

Минимизация геоэкологических проблем достигается решением сложного комплекса задач, предусматривающих широкое применение геоэкологического подхода при поиске возможностей максимального использования полезных свойств ландшафтов, длительного сохранения этих свойств, предельного уменьшения возможной их потери, снижения затрат на их использование и сохранение с учетом необходимости выполнять функции, заданные обществом. Следовательно, первостепенное значение для достижения геоэкологической безопасности, идеи приоритетности сохранения среды обитания имеет оптимизация ландшафтов, которая может быть достигнута приведением

процессов нефтегазодобывающей отрасли к максимально экологичным и управляемым формам.

Поиск сбалансированности между эксплуатацией ландшафтов (использованием естественных ресурсов), их охраной и целенаправленным преобразованием предполагается в широком смысле как оптимизация ландшафтов (Чибилёв, 2016). На данном этапе развития нефтегазодобычи оптимизация ландшафтов становится обязательным условием, если целью живущих поколений не является распространение зон геоэкологических проблем и кризиса. В качестве основ оптимизации необходимо, в первую очередь, формирование единого представления о закономерностях развития и функционирования ландшафтов нефтегазовых месторождений. Такой подход позволит осуществлять прогнозирование развития геоэкологической ситуации на месторождениях. Несмотря на масштабное развитие нефтегазодобывающей отрасли, подобное прогнозирование сейчас происходит крайне редко и является достаточно острой проблемой (Безродный, 2009).

Для обеспечения рационального природопользования, при котором не происходит значительных ухудшений среды обитания, необходимо оценивать комплекс природно-хозяйственных взаимоотношений, формирующихся в пределах анализируемого района, региона. Научным основанием подобного подхода является рассмотрение природной (географической) среды как совокупности соподчиненных природных географических комплексов разных порядков, относящихся к материальным системам открытого типа: они связаны между собой в пределах географической оболочки многообразными потоками вещества и энергии (Бакланов, Ганзей, 2008).

Основными типами природопользования в Волго-Уральском степном регионе - сельскохозяйственное производство и нефтегазодобыча. Они же выступают основными факторами трансформации ландшафтов, нарушая структуру и функции вертикальных и горизонтальных ландшафтных связей. И если относительно укоренившихся в степной зоне агроландшафтов можно вести речь о возникновении хрупкого баланса «землепользование - сохранность

степного биоразнообразия», то агрессивное и бескомпромиссное внедрение в агростепные системы нефтегазодобывающей промышленности способно нанести ущерб как немногим сохранившимся природным ландшафтам, так и сельскохозяйственному производству. Например, только в Оренбургской области, являющейся ядром Волго-Уральского степного региона, в последнее десятилетие около 40% буровых работ производится в зонах активного сельскохозяйственного использования. При этом остро встают задачи защиты земель от техногенных преобразований и их возврата в сельскохозяйственный оборот (Борисюк, 2009).

Связанные с нефтегазодобычей геоэкологические и социально-экономические последствия являются не только российской проблемой, но входят также в перечень острейших мировых вопросов. Исследователи из нефтегазодобывающих стран работают над созданием эффективных стандартов анализа и прогноза последствий эксплуатации нефтегазовых месторождений и путей оптимизации затрагиваемых ландшафтов (Liang и др., 2012; Jones, Pejchar, 2013; Waynard и др., 2013, 2014, 2017). На актуальность тематики и несомненную глобальность проблемы поиска компромисса между необходимостью ведения хозяйственной деятельности по извлечению нефти и газа из недр и поддержанием благоприятной среды обитания указывает ряд реализованных международных научных проектов последнего десятилетия: проект 2015 г. УрО РАН (Россия) - АФГИР США «Сопряженный анализ геоэкологического состояния степных экосистем Северной Евразии и Северной Америки в регионах нефтегазодобычи», проект АФГИР США 2018 г. «Разработка экологических стандартов функционирования энергетических ландшафтов в степной зоне» и др.

## **1.2. Опыт изучения проблемы, исходные концепции**

Поиски решения проблемы организации оптимальных вариантов природопользования в условиях нефтегазодобычи и связанных с ней задач

представлены в многочисленных тематических публикациях, территориально охватывающих многообразие районов, регионов и стран. Работы касаются аспектов трансформации компонентов ландшафта, анализа возникающих геоэкологических проблем, разработки подходов и методов снижения негативных последствий воздействия нефтегазодобывающего производства.

Рассматривается воздействие на почвенно-растительный покров (Janks et al., 1995; Корниенко, 2009; Полищук, Токарева, 2010; Булуктаев, 2018), анализируются последствия разливов нефти в водные объекты (Становой и др., 2011; Иванов и др., 2015), изучаются причины и варианты изменения гидрологического режима водных объектов (Хорошавин, 2005; Южаков, 2006). Оценивается неблагоприятное воздействие на животный мир, его видовое разнообразие (Easterly и др., 1991; Добринский, Сосин, 1995; Гашев, 2000; Noel, 2006; Kolowski, Alonso, 2010), осуществляется геодинамический мониторинг территорий нефтегазовых месторождений (Филатов и др., 2012; Нестеренко, Нестеренко, 2015). Анализируются механические нарушения ландшафтного покрова (Wilbert и др., 2008; Baynard 2011, 2014; Preston, Kim, 2016) и загрязнение воздушной среды (Anejionu, 2015). Оценивается роль дорожно-транспортной сети нефтегазопромыслов в изменении геоэкологического состояния ландшафтов (Musinsky и др., 1998; Baynard 2011; 2013; 2014), выполняется сравнительная оценка существующей и моделируемой фрагментации естественных территорий (Weller и др., 2002; Wilbert et al., 2008 г.).

Проводятся комплексные эколого-социально-экономические исследования районов нефтегазодобычи (Козин, 1984; Шакиров, 1998; Гареев, Шакиров, 2000; Юдахин и др., 2002; Morton и др., 2002, 2004; Глазьева, 2003; Бузмаков, Костарев, 2003; Булатов, 2004; Брыксин и др., 2008; Mikhaylov, Targulyan, 2009; Hese и Schmullius 2009; Елсаков, 2012; Соромотин, 2007, 2014). Осуществляются сравнительные оценки геоэкологических последствий добычи нефти и функционирования других источников энергии - например, ветровых турбин (Jones and Pejchar, 2013). Освещаются особенности утилизации радиоактивных отходов, полученных в ходе нефтедобычи (Xhixha, 2015), предлагаются пути

планирования землепользования (Kaffashi, Yavari, 2011). Предлагаются варианты использования ГИС как универсального средства сбора, обработки и представления информации об экологической обстановке на месторождениях (Макаров и др., 2007; Макаров и др., 2009), приводятся результаты оценки геоэкологических последствий нефтепоискового бурения (Зотов, Десятков, 2006).

Российские специалисты традиционно уделяют значительно больше внимания ведущим факторам дифференциации ландшафтов - географической зональности и связанным с ней природно-климатическим особенностям территории исследования. Но большинство работ российских авторов на тему трансформации и оптимизации ландшафтов при нефтегазодобыче выполняются для месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера, природно-климатические характеристики которых предполагают иные, чем в степной зоне, структуру и тяжесть последствий воздействия (Лопатин, 2007).

Среди российских авторов, изучающих нефтегазоносные ландшафты степных регионов, необходимо выделить исследования, раскрывающие геолого-гидрологические стороны проблемы нефтегазодобычи (Нестеренко, Нестеренко, 2017), специфику влияния нефтяного загрязнения на почвы Заволжско-Уральского региона (Воеводина и др., 2015), подходы к реабилитации предгорной степной зоны Северо-Восточного Кавказа, пострадавшей в результате нефтяного загрязнения (Керимов, Уздиева, 2008; Забураева, Газалиев, 2014), некоторые аспекты геоэкологического состояния ландшафтов в пределах месторождений Астраханской области (Гольчикова, 2013).

Среди зарубежных исследователей интересна работа А.У. Kwarteng (1999), который еще в 1999 г. отмечал значительную степень загрязнения нефтяными разливами ландшафтов Кувейта, выявленную с использованием данных ДЗЗ и полевых исследований. Коллектив европейских авторов в 2005 г. анализировал проблемы выбросов в атмосферу при добыче нефти в нефтеносных районах Казахстана (Netalieva и др., 2005), авторы из Китая изучали закономерности и варианты загрязнения почвы в пределах нефтяных месторождений равнинных территорий своей страны (Liang и др., 2012). Исследователи из США на основе

геоинформационных методов и маршрутных исследований выявили значительную степень механического преобразования ландшафтов в степных нефтедобывающих штатах Северной Америки (Copeland и др., 2009; Jones, Pejchar, 2013; Oikonomou и др., 2016). S. Plank и соавторы (2014), используя данные ДЗЗ, оценили плотность нефтегазодобывающей инфраструктуры на равнинах Республики Чад, Y. Noorollahi и соавторы (2015) разработали вариант рационального использования ликвидированных нефтяных и газовых скважин Ирана в качестве геотермальных ресурсов для извлечения тепла из геологических структур. Комплексный подход к анализу территорий нефтегазодобычи отмечается в исследовании N.F. Jones и L. Pejchar (2013), направленном на выявление индикаторов трансформации ландшафтов в степных штатах Колорадо и Вайоминг, а также в работе S. M. Jordaan (2012), посвященной анализу экологической ситуации в районе разработки нефтеносных песков канадской провинции Альберта. Однако исследователи западных стран традиционно нацелены на компонентный подход, считая его более эффективным для разработки конкретных природоохранных мероприятий.

В России подходы к классификации и типизации трансформированных ландшафтов в условиях постоянно растущего техногенного прессинга разрабатываются уже более полувека, обосновываются классификации по генетическому, морфологическому, морфогенетическому признакам (Бондарчук, 1949; Арманд, 1964; Мильков, 1973, 1981; Спиридонов, 1978; Исаченко, 1980). По мере развития и расширения производства указанные вопросы приобретали научную остроту, им уделялось все более активное внимание со стороны научного сообщества (Булатов, 1972; Ретеюм и др., 1972; Двуреченский, 1974; Моторина, 1975; Дончева, 1977; Ахтырцева, 1977; Федотов, 1982; Козин, 1984; Бакланов, 1986; Колесников, Моторина, 1986).

Направления изучения техногенного воздействия на ландшафты и их ответной трансформации постепенно переориентировались от исследований отдельных ландшафтных компонентов, концентрируясь на исследованиях разномасштабных геосистем, где каждый элемент является составной частью

целостной системы и участником сложившихся в ней вещественно-энергетических связей - «успешное познание динамики ландшафтов возможно лишь на основе системного подхода» (Мамай, 1999, с. 10). В отличие от компонентного, системный подход включает не только анализ элементов ландшафта, но и анализ происходящих в геосистеме процессов. Одним из направлений геосистемного подхода является концепция геотехнических систем, зародившаяся в 60-х гг. XX в. в Институте географии АН СССР (И.П. Герасимов, Л.Ф. Куницын, В.С. Преображенский, А.Ю. Ретеюм, К.Н. Дьяконов и др.) и получившая широкое развитие в дальнейшем (Природа, техника, геотехнические системы, 1978). К.Н. Дьяконов обосновал формирование геотехнической системы на примере функционирования гидротехнических систем, доказав появление новых природно-территориальных комплексов, возникновение и существование которых обусловлено созданием гидротехнических сооружений (Дьяконов, 1984). Интересно, что некоторые авторы считают всю современную антропосферу глобальной природно-технической системой, поскольку в ней возникают процессы, не характерные для естественного состояния географической оболочки (Боков, Селиверстов, Черванев, 1998).

При классификации геотехнических систем, в аспекте технического блока, по характеру целевой функции в привязке к генетически связанным с ними техногенным ландшафтам К.Н. Дьяконов и (1975) и В.И. Федотов (1982) во второй половине XX в. предложили выявлять и изучать нефтедобывающий тип геотехнических систем наряду с горнорудным, транспортным и пр. При выделении конкретных систем ведущее значение приобретает цель исследования, и, в конечном итоге, именно она определяет избираемые системообразующие отношения, объем рассматриваемого образования, свойства элементов и целевой системы в целом.

На взгляд автора, одним из наиболее подробных исследований процессов и реакций ландшафта, наблюдаемых в ходе нефтегазодобычи, является тематическая монография Н.П. Солнцевой (1998), в которой рассматриваются

проблемы и закономерности миграции, метаболизма и закрепления загрязнителей в почвах различных природных зон. Согласно этому исследованию, ареалы техногенного преобразования, формируемые одним и тем же техническим объектом нефтегазодобычи или техногенным геохимическим потоком, создают сложно устроенную, но единую территориальную структуру - техногенную ландшафтно-геохимическую систему, которая представляет собой комплексную морфо-геохимическую аномалию, являющуюся локализованной в пространстве ответной реакцией среды на техногенное воздействие. Хотя речь в монографии идет, в основном, о химических и механических нарушениях и модификациях почвенного покрова, важным результатом являются выводы автора об объективном наличии ландшафтно-геохимических ареалов. Факт наличия ареалов является основой предположения о существовании техногенных ландшафтно-геохимических систем и стадийности их преобразований. Стадийность выявлена на основе детального анализа сочетаний химических и физических нагрузок, объемы и варианты которых в большой степени зависят от стадии разработки нефтегазового месторождения.

Существенный вклад в развитие подходов к геоэкологической оценке воздействия нефтегазодобычи также внес А.В. Соромотин (2007). Анализируя экологические последствия эксплуатации месторождений нефти и газа в Тюменской области, автор предлагает делить воздействия на разовые и длительные, обращая внимание на объективные этапы освоения месторождения. Фактически затронутая воздействием территория обозначается в исследовании как единая пространственно-временная система, предполагающая наличие иерархической структуры.

Подход к прогнозу состояния геосистем в районах добычи нефти и газа Западной Сибири на основе анализа эколого-геохимических проблем предлагает Д.В. Московченко (2010). Используя ландшафтно-геохимический подход, автор изучает геоэкологическую ситуацию на месторождениях, различающихся по типу добываемого сырья (нефтяные, газовые, газоконденсатные), длительности эксплуатации и интенсивности техногенеза. Результатом изучения форм

техногенных геохимических преобразований почв на различных стадиях нефтегазодобычи стал вывод о трансформации миграционных потоков, оказывающих модифицирующее действие практически на все компоненты ландшафта, что также предполагает формирование определенного типа пространственно-территориальной системы в зоне воздействия нефтегазодобычи. К выводу о необходимости применения системного подхода для изучения специфических формирований в зонах воздействия нефтегазодобычи приходят также В.И. Булатов (2018) и В.В. Козин (2013).

На фоне интенсивной и масштабной эксплуатации месторождений нефти и газа использование геосистемного подхода с выделением обособленной природно-техногенной геосистемы с последующим изучением присущих ей принципов, особенностей и закономерностей формирования и развития является наиболее перспективным для целей мониторинга, анализа и разработки сценариев оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазового недропользования. Геосистемный подход позволяет оценивать геоэкологическое состояние геосистем (геоэкосистем, природно-техногенных геосистем и пр.) на основе анализа причинно-следственных связей явлений - каузальности.

В то же время, согласно положениям геоситуационной концепции, предложенной А.М. Трофимовым, состояние геоэкосистем различных территориальных уровней в любой заданный момент времени можно представить в виде сложной динамической совокупности взаимосвязанных геоситуаций, имеющих в каждом конкретном случае отчетливо выраженную пространственную локализацию. Тем не менее, геоситуации и их совокупность выделяются в границах геосистемы; таким образом, геоситуационный подход предполагает, что управление геосистемами - это управление существующими и складывающимися геоситуациями (Геоситуационный подход..., 1993). В свою очередь, Б.И. Кочуров (2003) предлагает в качестве экологической ситуации рассматривать территориальное сочетание различных, в том числе негативных и позитивных, с точки зрения проживания и состояния здоровья населения, природных условий и

факторов, создающих на территории определенную экологическую обстановку разной степени благополучия и неблагополучия.

В результате антропогенных воздействий, ведущих к нарушению структуры и функционирования ландшафтов и негативным социальным и экономическим последствиям, формируются геоэкологические проблемы. Неблагоприятная геоэкологическая ситуация представляет собой, по сути, территориальное сочетание таких проблем, и лишь при их отсутствии возможно природопользование, характеризующееся спокойной геоэкологической ситуацией. Возникновение геоэкологических проблем свидетельствует о необходимости оптимизации ландшафтов и изменения сценариев природопользования.

Наиболее действенным путем оптимизации ландшафтов является разработка и реализация системы принципов, соблюдение которых призвано привести к сбалансированному региональному развитию. Классическими стали принцип сотворчества человека с природой, выдвинутый В.Б. Сочавой, и ландшафтно-географические основы оптимизации природной среды (Исаченко, 1980). Принцип сотворчества человека с природой подразумевает «осуществляемую человеком систему мероприятий, направленных на развитие потенциальных сил природы, активизацию природных процессов, увеличение продуктивности геосистем и коэффициента полезного использования энергетических возможностей земного пространства» (Сочава, 1978, цит. по Исаченко, 1980).

Ландшафтно-географические основы оптимизации природной среды, представлены следующим образом:

1 - основными объектами оптимизации являются иерархически соподчиненные геосистемы разных порядков;

2 - основным последствием антропогенного воздействия на исходную структуру геосистемы является разрушение ее межкомпонентных связей и существующего равновесного состояния. Оптимизация призвана максимально сохранить характеристики исходных геосистем;

3 - геосистемы связаны между собой многообразными потоками вещества и энергии, в связи с чем локальные воздействия распространяются за пределы отдельных геосистем по различным каналам. Кумулятивный эффект подобных воздействий в конечном счете приобретает региональное и даже глобальное значение;

4 - к оптимизации природной среды в глобальных масштабах следует идти постепенно, накапливая позитивные изменения на локальных уровнях;

5 - отдельные меры (запретительные, технологические или иные) не приведут к необходимому результату. Необходимо использовать потенциальные возможности и тенденции, заложенные в самой природе, для защиты геосистем от чрезмерных техногенных нагрузок.

Развивая указанные направления, А.А. Чибилёв (1998, 2016), один из основоположников ландшафтной степеведческой школы, предложил ряд базовых принципов экологической оптимизации ландшафтов степей. Кратко он выразил их следующей системой условий:

- оптимизация ландшафтов учитывает комплексность и системность взаимоотношений между природными компонентами ландшафта и антропогенными факторами. Основными объектами оптимизации являются природные комплексы различного ранга, с учетом парагенетических и парадинамических связей;

- организация и специализация регионального природопользования определяется возможностями естественного ландшафта, в максимальной степени учитывая его полезные свойства и способствуя их длительному сохранению;

- комплекс оптимизационных решений должен учитывать, что ландшафты любого ранга – самоорганизующиеся и самоуправляемые системы открытого типа, связанные между собой многообразными обменами веществ и энергии;

- интенсивно используемые и охраняемые природные комплексы целесообразно размещать на максимальном удалении друг от друга (этот принцип вытекает из концепции поляризованного ландшафта Б.Б. Родомана (2002)). При

этом особую важность в пространственной структуре оптимизируемого ландшафта приобретают буферные зоны;

- стабильность и продуктивность природных систем находятся в тесной взаимосвязи с экологическим разнообразием ландшафта.

Оптимизация ландшафтов должна базироваться на результатах геоэкологического анализа их состояния, основные принципы которого включают системность, комплексность и пространственно-временную направленность (Грин, Клюев, Мухина, 1995; Жиров, 2002; Дебелая, 2003; Поздеев, 2006; Трофимов, Рубцов, Ермолаев, 2009 и др.).

### **1.3. Алгоритм регионального геоэкологического анализа, методы и подходы, понятийно-терминологическая база**

В широком смысле целью геоэкологического анализа является обоснование системы мер по геоэкологической оптимизации затрагиваемых ландшафтов и нормализации геоэкологической ситуации на районном, региональном и более глобальных уровнях. Региональный геоэкологический анализ предполагает обязательный учет природообусловленности формирования геоэкологической ситуации и геоэкологических проблем. Поскольку огромное многообразие природных условий не позволяет выработать единые критерии оценки этих условий для определенного типа природопользования, необходимо использовать региональный подход (Сочава, 1962). Геоэкологический анализ степного нефтегазоносного региона предполагает учет как специфики размещения и воздействия объектов изучаемой отрасли производства, так и природно-климатических особенностей, формирующих естественную устойчивость ландшафтов и естественные географические барьеры в качестве лимитирующих факторов природопользования. В пример можно привести геоэкологическую совместимость объектов нефтегазодобывающего комплекса с их ландшафтными

местоположениями, выявляемую в ходе оценки причинно-следственной связи явлений трансформации ландшафтов, возникновения геоэкологических проблем, глубины и разновидности оказываемой нагрузки.

Основные функции регионального геоэкологического анализа - методологическая и управленческая. Методологическая связана с формированием наиболее эффективной совокупности подходов и методов исследования для конкретного региона и заданных условий природопользования. Управленческая функция подразумевает, что решения по оптимизации ландшафтов, рационализации природопользования и оздоровлению геоэкологической ситуации в регионе должны быть научно обоснованными и опираться на информацию, полученную в результате геоэкологического анализа.

Региональный геоэкологический анализ направлен на решение геоэкологических проблем, являющихся, чаще всего, отраслевыми. Соответственно, целесообразно акцентировать отраслевую систему из среды как самостоятельную единицу, выполнить анализ ее структуры, выделить функциональные связи, определить внутренние процессы и характеристики внешних воздействий.

В Волго-Уральском степном регионе нефтегазодобыча, как один из основных источников интенсивного воздействия на ландшафты, определяет формирование специфического комплекса геоэкологических проблем. С учетом существующих подходов к определению сущности, целей и функций регионального геоэкологического анализа сформулировано понятие регионального геоэкологического анализа ландшафтов при эксплуатации месторождений нефти и газа. Под ним предлагается понимать комплексные геоэкологические исследования пространственно-временной динамики и закономерностей функционирования ландшафтов в условиях нефтегазодобычи, направленные на разработку научно-обоснованных путей их оптимизации и минимизации геоэкологических проблем. Подобная трактовка позволяет, не умаляя возможностей геоэкологического анализа в целом, сделать акцент на определенной, наиболее проблемной отрасли природопользования в регионе.

Наиболее эффективный путь исследования проблем, с которыми сталкивается современное общество, включает в себя следующие шаги (Олдак, 1980):

— Анализ проблемы как нерасчлененного целого: определение системы, в рамках которой решается данная проблема; определение проблемы как требования перехода от современного (негативного) состояния системы к некоторому предпочтительному (нормативному) состоянию; выделение параметров и функциональных связей системы; моделирование системы;

— Определение совокупности частных задач, решение которых будет способствовать исследованию поведения системы в целом;

— Анализ интегрированного целого: исследование частных решений, исследование поведения системы — определение возможных изменений ее состояния в рассматриваемом интервале времени, оценки сценариев будущего, выбор предпочтительного состояния, определение стратегии решения проблемы.

Минимизация рисков возникновения геоэкологических проблем связана, в первую очередь, с выявлением причинно-следственных связей их возникновения, что предполагает использование каузального подхода, характеризующегося изучением закономерной связи между причиной, например, существующей схемой регионального природопользования, и результатом - поломке системно-динамических связей в ландшафте, его техногенной трансформацией, порой необратимой. Каузальность, или причинная обусловленность явлений, выражает буквально следующее: некое событие является причиной другого события и одновременно имеет свою причину. Формулировки причин и следствий в аспекте рассматриваемой отрасли природопользования могут быть различны: в качестве причины можно обозначить игнорирование и превышение допустимых норм воздействия на ландшафты, ландшафтно-неадаптированное землепользование, несовершенную экологическую нормативно-законодательную базу, в качестве следствия - трансформацию, деградацию ландшафтов, нарушение их горизонтальных и вертикальных структурных связей, возникновение зон геоэкологических проблем и кризиса. Но исход остается неизменным: не

учитывая причинно-следственные связи явлений, мы получаем все более расширяющийся комплекс геоэкологических проблем на различных уровнях иерархического ряда геосистемы. Анализ причинно-следственных связей имеет в каждом случае практическое значение: последующая формализация связей, функций и отношений может служить основой для построения абстрактной модели образовавшейся специфической многоуровневой природно-техногенной геосистемы.

Иерархическая структура трансформированных ландшафтов, многоуровневость, многофакторность и многогранность оказываемого воздействия определяют потребность в полимасштабном подходе. Подобное построение может служить незаменимой базой для разработки схем оптимизации ландшафтов в условиях определенных трансформационных процессов, происходящих во времени и пространстве – основных научных категорий геоэкологических исследований (Шупер, 2015).

Необходимость исследования динамики пространственно-временной структуры объектов месторождений, трансформации ландшафтов, стадийности происходящих процессов, выявления переломных моментов диктует необходимость использования сравнительно-исторического анализа. Применение современных геоданных, данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий, создающих широкие возможности исследования ландшафтов, предполагает применение геоинформационного анализа. Иными словами, мультидисциплинарное исследование требует интегрального подхода, включающего в себя множество существующих направлений, методов и методик, способных помочь в выявлении многообразных аспектов развития и функционирования техногенно-трансформированных ландшафтов, путей их оптимизации, разработке прогнозных сценариев дальнейшего развития геоэкологической ситуации.

Вышеизложенные подходы и методы исследования позволили разработать алгоритм геоэкологического анализа Волго-Уральского степного

нефтегазоносного региона (рис. 4), состоящий из нескольких последовательных этапов:

- разработка теоретико-методологических основ междисциплинарного исследования трансформации ландшафтов;

- анализ комплекса широтно-зональных характеристик, предопределяющих специфические особенности степной зоны и формирование определенных геоэкологических проблем;

- многофакторный мониторинг (дистанционный и полевой) геоэкологической ситуации в зонах воздействия объектов нефтегазодобычи: систематический, оперативный – как отклик на возникновение конкретной геоэкологической

- проблемы, импактный – на локальных участках, подверженных наиболее интенсивному техногенному воздействию, базовый и пр. (Емельянов, 1994);

- выявление наиболее масштабных и распространенных геоэкологических проблем, наиболее интенсивных техногенных процессов, обуславливающих нарушение сложившейся структуры ландшафтов и влияющих на исходные вещественно-энергетические связи;

- разработка подходов к оптимизации ландшафтов, концепции оптимизации природопользования, в том числе на основе опыта международного сотрудничества в области изучения и сохранения ландшафтов нефтегазовых месторождений;

- подготовка прогнозных сценариев развития геоэкологической ситуации в регионе в связи с продолжающейся добычей нефти и газа.

В данной работе, на базе российского и зарубежного опыта, разработан ряд методических приемов и способов, включая многофакторный анализ геоданных, полевых и камеральных материалов, собранных автором лично.

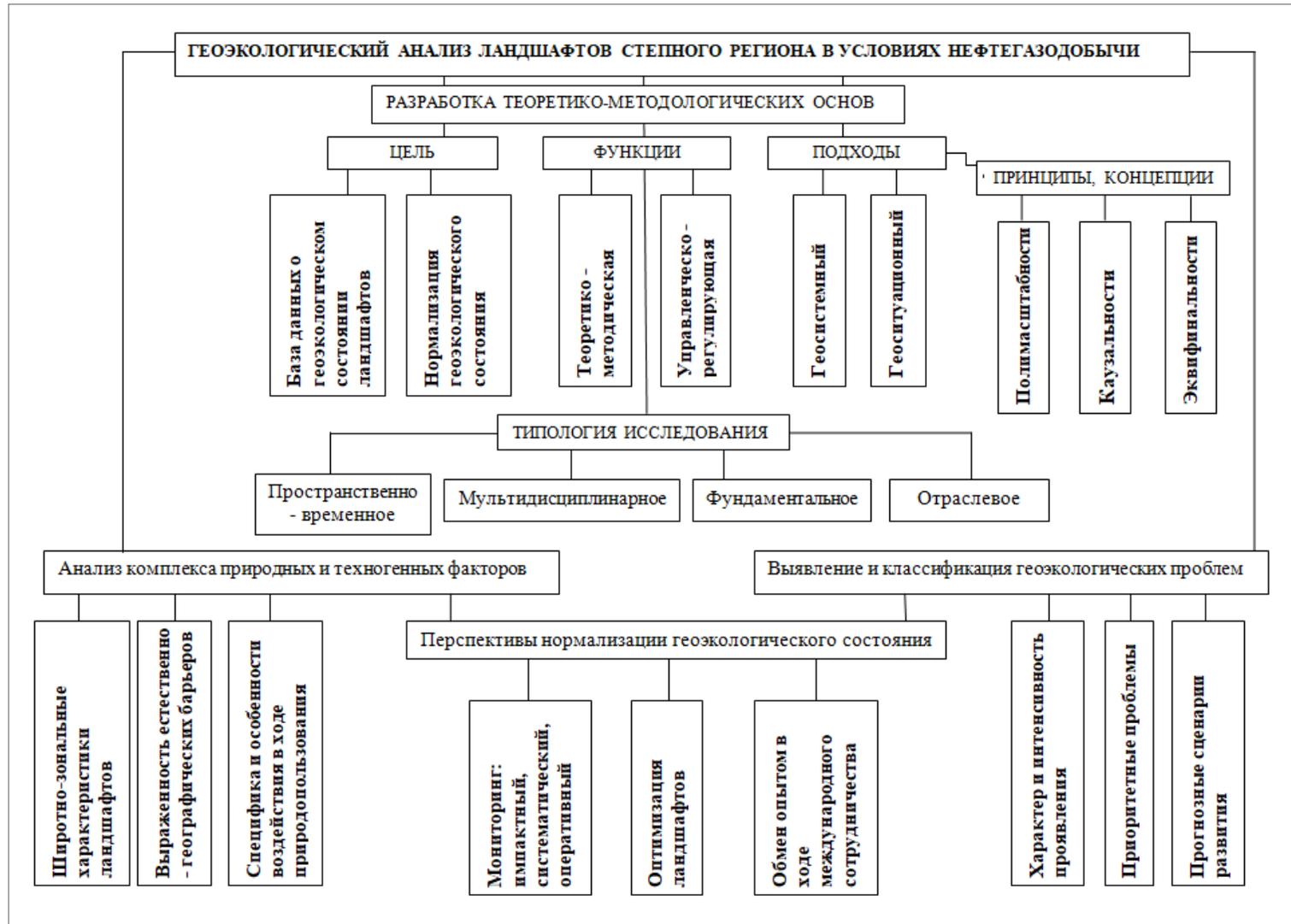


Рисунок 4. Алгоритм геологического анализа ландшафтов степного региона в условиях разработки месторождений нефти и газа

Выбор ключевых участков и выполнение полевых исследований осуществлялись с применением комплексных эколого-географических и ландшафтных методов, в том числе - инструментальных наблюдений. Выполнялся сбор фактического материала о состоянии ландшафтов в границах нефтегазовых месторождений, включая анализ характера и интенсивности техногенных преобразований ландшафтных компонентов. Изучались связи между трансформационными процессами и звеньями инфраструктуры нефтегазовых месторождений.

Обработка фактического материала осуществлялась в сочетании с геопространственными данными. Анализировались основные аспекты взаимодействия природных и техногенных объектов, выявлялись наиболее уязвимые стороны ландшафта, разрабатывались обоснования, критерии, лимитирующие факторы природопользования. Оценивалась структура размещения объектов нефтегазовых месторождений в пространственно-географической среде: относительно населенных пунктов, водных объектов, ландшафтных особенностей территории (уклон рельефа, экспозиция склона). Подобный анализ призван оценить существующие и потенциальные геоэкологические риски в пределах ландшафтов месторождений (Семёнов, 2015).

В работе использовались изображения спутников Ландсат, платформ Google Earth и Arc GIS online, цифровые модели рельефа SRTM, доступные наборы векторных и растровых карт специализированных интернет-сервисов ФАН Роснедра, ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, содержащих актуальную информацию. Осуществлялся сопряженный анализ статистических материалов Управления ФСГРКК «Росреестр», федеральных органов государственной статистики, порталов правительства субъектов РФ, отчеты и прогнозы министерств Российской Федерации, материалы сайтов компаний - недропользователей и пр.

Аналитическая обработка материалов позволила выделить наиболее распространенные и масштабные факторы и индикаторы техногенной трансформации, являющиеся показательными и специфичными для степной зоны (долю нарушенных земель, фрагментированность ландшафтов, тепловые ареалы в

зонах действия факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа, потенциальные нарушения условий поверхностного стока объектами инфраструктуры месторождений и пр.). Полевые работы явились безальтернативным источником ряда данных: механического нарушения ландшафтов в ходе функционирования объектов нефтегазопромыслов, шумового и химического загрязнения, влажности и температуры почв и пр. Использование спутниковой информации в качестве необходимого компонента геоэкологического анализа позволило получить ряд сведений, малодоступных при выполнении исследований на местности: динамику температуры земной поверхности в зонах термического воздействия, площади нарушенных земель, параметров фрагментации ландшафтов, эрозионной активности на исследуемых участках; последствия взаимодействия объектов нефтегазодобычи с сельскохозяйственными землями. Итоговый анализ и синтез результатов многолетних полевых исследований вкуче с динамическим рядом спутниковых изображений и геоданных позволил выявить закономерности пространственно-временной динамики ландшафтов, предложить пути интеграции разноплановых характеристик их техногенной трансформации в единую систему. Новая объективная информация о состоянии нефтегазоносных ландшафтов послужила базой для разработки путей их оптимизации, призванной сохранить уникальное степное биоразнообразие и привести нефтегазодобывающую отрасль производства к максимально экологичным и управляемым формам.

### **Понятийно-терминологический аппарат**

В работе используются понятия «ландшафт» и «геосистема» как взаимодополняющие категории. Под *ландшафтом* традиционно понимается часть земной поверхности, для которой характерно определённое сочетание рельефа, климата, почв, растительного и животного мира. *Геосистема* - более фундаментальное, теоретическое понятие, подразумевающее наличие сложной структуры отношений и связей между элементами, образующими определенную целостность и единство. Геосистемы включают самые разнообразные природные,

экономические, социальные элементы, общим с функциональной точки зрения для которых является только их территориальное местоположение (Фёдоров, 2010). Согласно Ф.Н. Милькову, категории «геосистема» и «ландшафт» взаимно дополняют друг друга, подчеркивая в первом случае структурно-динамический аспект, во втором - пространственный (Геоэкология и природопользование, 2005).

Автор также использует следующие операционные категории и термины:

***Региональный геоэкологический анализ ландшафтов в условиях нефтегазодобычи*** - комплексные исследования пространственно-временной динамики и закономерностей функционирования ландшафтов в условиях нефтегазодобычи, направленные на разработку научно-обоснованных путей их оптимизации и минимизации геоэкологических проблем.

***Эквифинальность последствий нефтегазодобычи*** - равнозначно необратимые для ландшафтов последствия нефтегазодобычи - трансформированные ландшафты, не вернувшиеся к своему исходному состоянию, смена природного инварианта ландшафта природно-техногенным.

***Природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения*** - целостная совокупность естественных и модифицированных природных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения.

***Зона нефтяного геоэкологического наследия*** - зона с остатками полуразрушенной инфраструктуры нефтегазопромысла, измененными и неоднородными почвами и растительными сообществами.

***Оптимизация ландшафтов в условиях разработки месторождений нефти и газа*** - процессы регулирования их состояния для максимально возможного усиления природного потенциала и роли экосистемных услуг при заданных условиях природопользования.

## **Выводы по главе 1**

Проблемы трансформации и оптимизации степных ландшафтов в условиях разработки нефтегазовых месторождений характеризуются высокой актуальностью, обусловленной глубиной, длительностью и масштабностью воздействия – схожие геоэкологические проблемы наблюдаются в России и других нефтегазодобывающих странах.

Анализ существующих разработок и собственные исследования показали, что сопряженное использование геосистемного и геоситуационного подходов с выделением обособленной природно-техногенной геосистемы с присущими ей принципами и особенностями развития является наиболее перспективным для целей мониторинга, контроля и разработки путей оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазодобычи.

Предложенный алгоритм геоэкологического анализа направлен на получение объективной информации о геоэкологическом состоянии степных ландшафтов и совершенствование научных основ нормализации геоэкологической обстановки в Волго-Уральском степном регионе. Функции анализа – теоретико-методическая, обуславливающая формирование наиболее эффективной совокупности подходов и методов исследования для конкретного региона и заданных условий природопользования, и управленческая, подразумевающая обоснование практических мер и системных действий по оптимизации ландшафтов, рационализации природопользования, оздоровлению геоэкологической ситуации, которые должны приниматься на основе геоинформационного обоснования, полученного в ходе исследования данных.

Представленные в работе дополнения существующего понятийно-терминологического аппарата в области геоэкологии нефтегазоносных регионов позволяют конкретнее отразить специфику воздействия и геоэкологических последствий нефтегазодобычи. Предложенные подходы, понятия и формулировки уточняют и дополняют теоретическую базу, необходимую для мониторинга и оптимизации ландшафтов в условиях разработки месторождений нефти и газа на глобальном, региональном и локальном уровнях.

## **ГЛАВА 2. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПОЛИМАСШТАБНОСТЬ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ**

### **2.1. Полимасштабная структура трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса**

Географическая полимасштабность трансформации степных ландшафтов под воздействием нефтегазодобычи отчетливо визуализируется в виде сгущений и разрежений зон и ареалов негативного воздействия на локальных, региональных и глобальных уровнях. Применение принципа полимасштабности позволяет распространить опыт, полученный на конкретных ключевых территориях, до уровня регионов, стран и континентов: специфика геоэкологических исследований предполагает обоснованное распространение и применение на схожих территориях выводов, сделанных по результатам изучения отдельных участков. Подобные особенности обуславливают актуальнейшую проблему сквозьуровневой трансляции информации и определения характерных свойств и характеристик происходящих процессов (Хорошев, 2016).

Использование совместно полимасштабного и эквивифинального подходов при исследовании различных уровней системы, обладающей иерархическим строением, позволяет понять, что есть общее, а что - специфическое. Такой анализ дает возможность понять, на каком уровне локализуются проблемы развития, на каком следует искать ресурсы, необходимые для их решения, где следует ожидать эффекты, связанные с решением той или иной проблемы (Демьяненко, 2010). По А. И. Трейвишу (2006), «полимасштабность - в сущности, наш способ анализа и синтеза, сочетания узкого обзора и детализации с широтой и генерализацией». Принимая полимасштабность явления, мы получаем возможность перехода с уровня на уровень, движения по масштабной пространственно-временной шкале трансформированных территорий, отражающей непрерывно-дискретное устройство системы. Цель - выявление особенностей и отличительных черт

масштабных уровней, совокупность составляющих их природных и техногенных объектов, направленность связей между иерархическими единицами системы, выявление частных или общих закономерностей и условий (Хаггетт, 1979; Полян, Трейвиш, 1988; Трейвиш, 2006). Такой анализ необходим для решения актуальных задач оценки изменения ландшафтов на уровне зон и ареалов нефтегазодобычи, отличающихся по глубине и степени трансформации. Конечная цель - разработка путей оптимизации ландшафтов и прогнозных сценариев их геоэкологического состояния при различных масштабах и схемах воздействия.

В случае с нефтегазодобывающим производством, именно вариации пространства, времени и содержания происходящих процессов определяют необходимость полимасштабного подхода. Можно сформулировать полимасштабную модель трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса следующим образом. Минимальным уровнем масштаба является скважина, которую целесообразно воспринимать не только как точечный объект локализованного воздействия - небольшую по размерам площадку с техническим сооружением, но и как составную часть комплексной и сложной системы скважин, трубопроводов, пунктов сбора и первичной переработки углеродного сырья, которая, в свою очередь, является составной частью нефтегазопромысла месторождения. Нефтегазопромыслы месторождений образуют сеть нефтегазодобывающей инфраструктуры нефтегазоносных провинций, причем ячейки этой сети разделены крупными зонами незатронутых нефтегазовым природопользованием территорий. Увеличение площади иерархического уровня системы предполагает усложнение структуры, форм, содержания элементов и связей, в то время как нижние уровни отличаются детальностью и четкостью (рис. 5). Итоговая генерализованная сеть ландшафтов, наполненных инфраструктурой нефтегазоносных провинций, представляет собой единую совокупность специфически трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса, развивающихся во времени и пространстве, то есть находящихся в каждый момент в определенных пространственно-временных границах.

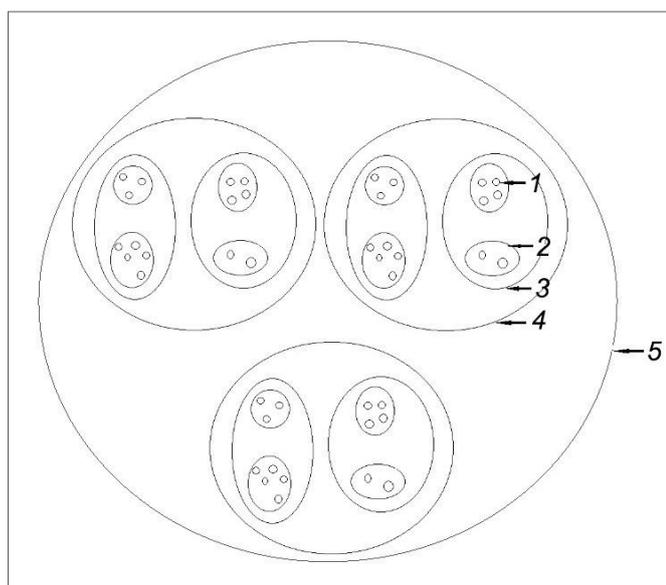


Рисунок 5. Упрощенная иерархическая модель полимасштабной структуры трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса: 1 – микроуровень (скважина), 2 – мезоуровень (участок нефтегазопромысла), 3 – макроуровень (нефтегазопромысел), 4 – мегауровень (сеть нефтегазопромыслов нефтегазоносной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

Структурными изменениями масштабов нарушенных земель и ландшафтов определяются различные виды их устойчивости и внутренних связей, а также взаимодействия иерархических единиц разной масштабности посредством сквозных вещественно-энергетических связей, играющих системообразующую роль.

Еще одна важная сторона полимасштабности – неравнозначность, разномасштабность реакций ландшафта в диаде «воздействие – отклик», несоответствие пространственно-временных и содержательных масштабов трансформации. Например, воздействие одного точечного объекта – факельной установки – может привести к изменению температуры и загрязнению больших площадей. Подобные несоответствия пространственно-временных и сущностных масштабов являются классическим примером необходимости включения полимасштабности при географическом изучении процессов и явлений. В

подобных случаях важно определение территориального охвата и степени детальности исследований на выбранном иерархическом уровне. Полимасштабность исследования заключается и в разработке показателей трансформации и оптимизации ландшафтов, значимых как для каждого пространственного масштаба в отдельности, так и для совокупности всех иерархических уровней трансформируемых нефтегазодобычей геосистем.

Третья сторона полимасштабности - полимасштабность процессов и объема нефтегазового природопользования – проявляется в разнице степени и глубины текущей и накопленной техногенной нагрузки, варьирующей от локальных местоположений до уровней стран и континентов.

## **2.2. Специфика размещения и освоения нефтегазовых месторождений мира и России**

Началом зарождения нефтегазодобывающей промышленности считается внедрение в конце 60-х гг. XIX в. технологии бурения нефтяных скважин (Плачкова и др., 2013). Если в 1859 г. общемировой объем добычи нефти составлял около 5000 т, то в 1880 г. - уже 3,8 млн. т, а в 1900 г. – почти 20 млн. т, то есть за 40 лет мировая добыча нефти возросла в 4000 раз (Хайретдинов, 2009). По последним данным, предоставленным компанией BP (British Petroleum), мировые доказанные запасы нефти (вероятность извлечения 90%) оцениваются в 239,3 млрд.т или 1696,6 млрд. баррелей (BP Statistical Review of World Energy, 2018). Лидером по запасам нефти является Венесуэлла, второе место занимает Саудовская Аравия, далее в рейтинге находятся Канада, Иран, Ирак, Россия, Кувейт и США. Сейчас добыча нефти ведется более чем в 54 странах мира, в тройке лидеров находятся США, Саудовская Аравия и Россия (табл. 1, приложение 1).

Таблица 1. Примеры глобальной географической полимасштабности обеспеченности запасами и добычи нефти и газа в странах по состоянию на 2017 г. (Statistical Review of World Energy, 2018).

Страна	Запасы нефти, млрд. тонн	Добыча нефти, млн. тонн	Запасы газа, трлн. куб. м.	Добыча газа, млн. куб. м
Северная Америка				
США	6,2	571,0	8,7	749,2
Канада	27,2	236,3	2,2	152,0
Мексика	1,0	109,5	0,2	47,2
Центральная Америка				
Бразилия	1,9	142,7	0,4	23,5
Евразия				
Россия	14,5	554,4	32,3	554,4
Средний Восток				
Иран	21,6	234,2	33,5	202,4
Ирак	20,6	221,5	3,7	1,1
Кувейт	14,0	146,0	1,8	17,1
Саудовская Аравия	36,6	561,7	8,4	109,4
ОАЭ	13,0	176,3	6,1	61,9
Страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР)				
Китай	3,5	199,7	5,4	138,4

Мировой рост потребления нефти в 2017 г. в среднем составил 1,8%, или 1,7 млн. баррелей в день (млн б/д), что третий год подряд превышает 10-летний средний показатель на 1,2%. Наибольший прирост потребления нефтяной продукции обеспечили Китай - 500 000 б/д и США - 190 000 б/д. В то же время, несмотря на рост добычи нефти на Ближнем Востоке (Иран, Ирак, Саудовская Аравия), мировое производство нефти выросло всего на 0,6 млн б/д, что демонстрирует самый медленный темп прироста начиная с 2013 года. Наибольшее снижение производства нефти отмечается в Саудовской Аравии (-450 000 б/д) и Венесуэле (-280 000 б/д), в то время как США и Ливия демонстрируют самый значительный прирост - 690 000 и 440 000 б/д соответственно. Пропускная способность нефтеперерабатывающих заводов выросла на 1,6 млн. б/д, в то время как рост мощностей по переработке составил всего 0,6 млн б/д, что ниже среднего показателя третий год подряд. В результате загрузка нефтеперерабатывающих заводов достигла самого высокого уровня за девять лет (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

Интенсивное развитие газовой промышленности началось в 60-х годах XX века. Мировая добыча природного газа возрастала в среднем в 3–4 раза каждые 20 лет: если за период с 1901 по 1920 гг. она составила 0,3 трлн. м<sup>3</sup>; то в 1993 г. добыча природного газа в мире составила 2663,4 млрд. м<sup>3</sup> (Судо, Казанкова, 1998). В 2016 г. производство природного газа оценивается в 3,55 млрд. м<sup>3</sup>, добыча ведется более чем в 51 стране мира (см. табл. 1). В тройке лидеров по доказанным запасам находятся Иран, Россия и Катар, по добыче - США, Россия, Иран. За 2016 г. мировое производство природного газа увеличилось на 21 млрд м<sup>3</sup> (0,3% прироста). Снижение производства газа в Северной Америке (- 21 млрд м<sup>3</sup>/год) частично компенсировано значительным ростом добычи в Австралии (19 млрд. м<sup>3</sup>/год) и Иране (13 млрд м<sup>3</sup>/год). Потребление газа в странах ЕС резко возросло (на 30 млрд. м<sup>3</sup> (7,1%)) и показало самый быстрый рост начиная с 2010 г., в то время как в России наблюдалось наибольшее снижение потребления (- 12 млрд. м<sup>3</sup>/год) (Statistical Review of World Energy, 2018).

По прогнозам Управления энергетической информацией США (Energy Information Administration), к 2040 г., в связи с ростом мирового спроса на энергетические ресурсы, глобальное потребление природного газа увеличится на 3% (с 23 до 26 от общей доли энергоисточников), потребление нефти снизится на 3% (с 33 до 30), в то время как роль возобновляемых источников энергии вырастет на 4% (с 12 до 16) (OGJ, 2016; Sieminski, 2016). На фоне того, что страны ОПЕК и другие крупные производители не пришли к каким-либо значимым соглашениям об ограничении и/или частичной заморозке добычи углеводородного сырья, добыча нефти и газа продолжается во всем мире. Так, например, в Саудовской Аравии объемы добычи нефти достигли небывало высокого уровня в июле 2016 г. (Spindle и Said, 2016).

В дореволюционной России максимальный объем добычи нефти пришелся на 1901 г. – 11,9 млн т., что составило более половины всей мировой добычи на тот период. В канун первой мировой войны (1913 г.) в России было добыто 10,3 млн т нефти, а в конце войны (1917 г.) – 8,8 млн т. Почти полностью разрушенная в годы мировой и гражданской войны нефтяная промышленность стала

возрождаться в 1920 г. До второй мировой войны основные нефтяные районы СССР располагались в Азербайджане и Предкавказье. В 1940 г. добыча нефти в СССР достигла 31,1 млн т (из них 22,2 млн т. в Азербайджане). В годы второй мировой войны добыча уменьшилась до 19,4 млн т в 1945 г. (из них 11,5 млн т в Азербайджане), долю нефти в промышленности в это время занял уголь.

Тем не менее, в военные и послевоенные годы в разработку последовательно вовлекались новые нефтяные месторождения. В сентябре 1943 г. в Республике Башкортостан был получен мощный нефтяной фонтан из разведочной скважины, что позволило резко поднять здесь добычу нефти в разгар Великой Отечественной войны. Спустя год была получена первая нефть из девонских отложений на Туймазинском месторождении. В 1946 г. было открыто первое нефтяное (Бавлинское) месторождение в Республике Татарстан, где в этот же период появилось знаменитое своими запасами Ромашкинское месторождение нефти, расположенное на юго-востоке республики (Соколов, 1970; Судо, Казанкова, 1998).

В 1950 г. добыча нефти в СССР превзошла довоенный уровень, составив 37,9 млн т. Главным нефтедобывающим регионом страны стала обширная территория, расположенная между Волгой и Уралом, включающая богатые нефтяные месторождения республик Башкортостан и Татарстан и получившая название «Второе Баку». К 1960 г. добыча нефти увеличилась почти в 4 раза по сравнению с 1950 г. Девонские отложения стали самым мощным нефтеносным комплексом в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (Соколов, 1970; Бакиров, 1990).

С 1964 г. началась промышленная эксплуатация западносибирских месторождений нефти. Это позволило увеличить добычу нефти в стране в 1970 г. по сравнению с 1960 г. более чем вдвое (353,0 млн. т) и наращивать годовые приросты добычи нефти до 25–30 млн. т. В результате в 1974 г. СССР занял первое место в мире по добыче нефти. Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, ставшая с середины 70-х гг. главной базой по добыче нефти и газа, обеспечивала более половины всей добываемой в стране нефти (Соколов, 1990).

В конце 80-х гг. на территории бывшего СССР выделяли уже более 10 нефтегазоносных провинций, каждая из которых включала несколько нефтегазоносных областей. Большая часть нефтегазоносных провинций расположена в пределах платформенных территорий (Русской и Сибирской платформ), с ними связаны провинции преимущественно палеозойского и мезозойского нефтегазонакопления (Бакиров, 1990). Максимум добычи нефти в стране – 624,3 млн. т был достигнут в 1988 г. Затем начался спад – 305,6 млн. т в 1997 г., после чего добыча опять стала возрастать. В большинстве старых нефтедобывающих районов Северного Кавказа и Волго-Уральской нефтегазоносной провинции снижение добычи нефти произошло задолго до 1988 г. Но оно компенсировалось ростом добычи в Тюменской области. Поэтому резкое падение добычи нефти в Тюменской области после 1988 г. (в среднем, по 7,17% в год) вызвало столь же значительное ее падение в целом по СССР (по 7,38% в год) и по России (Судо, Казанкова, 1998).

Добыча природного газа в промышленных масштабах в СССР началась в конце 50-х гг., составив 21 млрд м<sup>3</sup> в 1958 г., возрастая быстрыми темпами. В 1983 г. СССР вышел на первое место в мире по добыче природного газа благодаря освоению газовых месторождений Западной Сибири, обеспечивающей около 90% всей добычи природного газа в стране. Прогнозные ресурсы природного газа в целом по России оцениваются в 166,8 трлн м<sup>3</sup>. Они сосредоточены, главным образом, в Западной Сибири. За ней, по объемам запасов, следуют Восточная Сибирь и Дальний Восток. Свыше 42% ресурсов связано с акваториями морей, прежде всего, Карского и Баренцева (Судо, Казанкова, 1998).

В настоящее время добыча нефти и газа ведется в большинстве степных регионов России: Причерноморье, Приазовье, Северном Крыму, Северном Кавказе, на юге Средне-Русской и Приволжской возвышенностей. Изучение геолого-экономической структуры ресурсов нефти российских нефтегазоносных провинций, выполненное территориальными научно-исследовательскими и проектными организациями Министерства нефтяной промышленности СССР в 1987–1988 гг. показало, что запасы ресурсов разнятся более чем в десятки раз

(Крылов, 2007). Большинство залежей российской нефти и газа сосредоточены в двух основных регионах: в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, между Уральскими горами и Среднесибирским плоскогорьем, и в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, в пределах которой расположен Волго-Уральский степной регион, являющийся также одним из важнейших центров аграрного природопользования России.

### **2.3. Особенности размещения и освоения нефтегазовых месторождений Волго-Уральского степного региона и ключевых участков исследования**

Первые попытки поиска нефти в Волго-Уральском степном регионе относятся к середине XIX в., в настоящее время в его границах выявлено более 200 нефтегазовых месторождений, основная часть которых по величине запасов сырья относится к средним. Промышленные нефтегазоносные отложения девона, карбона и перми, нефтепроявления отмечены в породах рифей-вендского возраста. Продуктивные горизонты выявлены на глубине от 0,5 до 5 км и более. Залежи в основном пластовые сводовые, пластовые сводовые литологически экранированные, массивные и в небольшом количестве тектонически экранированные. Разработка залежей осуществляется с поддержанием пластового давления. Нефти, в основном, парафиново-нафтенового типа, средней и высокой плотности (820-890 кг/м<sup>3</sup>), сернистые (0,5-3,0%), смолистые (Алиев и др., 1977).

Нефтегазоносная территория в рельефе представляет слабо всхолмленную равнину с колебанием абсолютных отметок от 150-200 до более 400 м. Общей характерной чертой рельефа является асимметрия долин и междуречий, наиболее ярко проявляющаяся на широтных водоразделах.

В административном отношении Волго-Уральский степной регион включает северо-восточную часть Волгоградской области, восточную часть Саратовской области, южную часть Самарской области и Оренбургскую область (рис. 6).

Согласно схеме природного районирования, указанная территория находится в зоне степей, что свидетельствует о схожести природно-климатических условий, обуславливающих особенности формирования трансформированных ландшафтов.

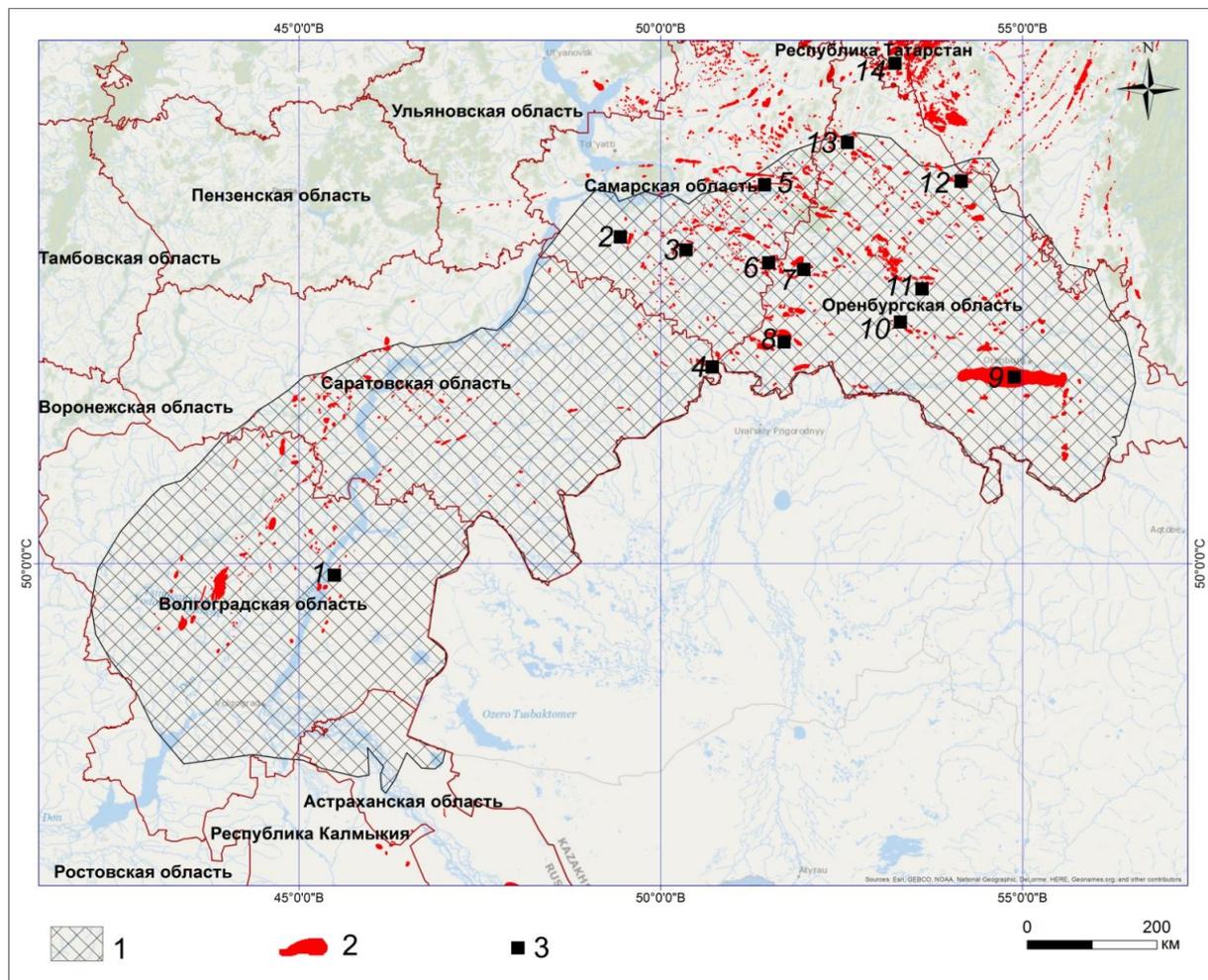


Рисунок 6. Волго-Уральский степной регион: 1 - степная зона, 2 - ареалы нефтегазовых месторождений (по данным Федерального агентства «Роснедра»), 3 - ключевые участки исследования (№1 – Волгоградская обл., №2, №3 – Самарская обл., №4 – Саратовская обл., №5, №6 – Самарская обл., №7 - №13 – Оренбургская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

Волгоградская область относится к старым нефтегазодобывающим районам со сравнительно высокой долей освоения нефтегазовых ресурсов - освоенность составляет около 34%. Целенаправленная добыча нефти началась в Волгоградской области в 1946 г. (Добыча нефти..., 2017). В области

зарегистрировано 78 месторождений нефти и газа, из них 9 выработанных, 16 находятся в консервации, 6 - в разведке и 47 - в разработке (Нефтегазовые месторождения: Волгоградская область, 2017).

Саратовская область производит около 2% всей добываемой в Волго-Уральском степном регионе нефти и 17% природного газа, длительное время сохраняя достаточно высокий уровень добычи нефти - 1,2-1,3 млн т в год. Запасы нефти и газа в области достаточно высоки - около 700 млн т нефти и 1 трл м<sup>3</sup> газа (Нефтегазовые месторождения: Саратовская область, 2017). По количеству перспективных и прогнозных ресурсов углеводородного сырья область занимает первое место в Волго-Уральском степном регионе, по реальным запасам сырья - четвертое. Промышленная добыча сосредоточена в нескольких степных районах области, на данный момент суммарная площадь лицензионных участков не превышает 10% общей площади нефтегазоперспективных земель. В настоящее время нефтегазодобыча в основном базируется на эксплуатации 70 мелких месторождений, из них 65 нефтяных и 5 газовых (Месторождения полезных ископаемых..., 2017).

В Самарской области добыча нефти ведется с 1936 г., регион является крупным нефтяным поставщиком, с развитой нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленностью. Нефтедобывающие предприятия Самарской области на протяжении последних лет уверенно увеличивают объемы добычи нефти. Удельный вес Самарской области в добыче нефти по России составляет 2,4%. На территории области открыто более 380 месторождений нефти (Нефтяная промышленность..., 2017)

Однако ведущую роль в добыче углеводородного сырья в пределах степной зоны Волго-Уральской нефтегазоносной провинции играет Оренбургская область. О признаках нефтеносности Оренбургского края еще в 1762 г. упоминал П.И. Рычков в своем сочинении «Топография Оренбургской Губернии». Можно считать, что «Топография...» Рычкова является первым в России научным трудом, содержащим в себе сведения о нефтяных месторождениях Волго-Уральского степного региона (Кострин, 1963; Молявко и др., 1985).

Кумулятивные эффекты полимасштабности воздействия нефтегазодобычи проявляются в том числе в динамике ввода в эксплуатацию и объемах добычи сырья. Например, в истории нефтегазодобычи в Оренбургской области - ядре Волго-Уральского степного нефтегазоносного региона - выделяются несколько этапов, связанных с политическими процессами в стране и мире, социально-экономической ситуацией, уровнем научно-технического развития общественного производства и др.

Разведочные работы и добыча нефти и газа в Оренбургской области начались в 1937 г., определяя сложную динамику образования техногенно-модифицированных ландшафтов. Долгое время технологические процессы поиска, разведочного бурения и эксплуатации скважин происходили на проблемном этапе развития природоохранной политики СССР, без необходимой оценки экологических последствий.

*Этап с 1937 по 1965 гг.* можно назвать зарождением нефтегазодобывающей отрасли области за счет освоения месторождений в ее северо-западной части. Характеризуется низким уровнем технического оснащения и низкой производительностью. До 1949 г. разведка и разработка залежей производилась на неглубоких верхнепермских и нижнекаменноугольных отложениях (Киселев, 1968). В 1952 г. началась разработка Султангуловского месторождения нефти из девонских отложений, которое изменило представление о промышленных запасах нефти в регионе. В этот период открыты наиболее крупные и продуктивные месторождения - Покровское, Родинское, Могутовское, Ефремово-Зыковское, Твердиловское, Журавлевско-Степановское. Наблюдается рост объемов добычи, более интенсивное развитие поисковых и разведочных работ. В 1955 г. ежедневная добыча нефти сопоставима с объемом добычи за весь 1938 г. В 1960 г. объем добычи нефти составил 1,3 млн т. В 1963 г. образовано производственное хозрасчетное объединение «Оренбургнефть» (Воронов, Цвирко, 1975). В 1965 г. по сравнению с 1960 г. добыча нефти возросла более чем в 2 раза.

*1965 - 1980 гг.* Этап максимальной добычи и опережающих геологоразведочных работ. К началу 1966 г. в разрезе осадочной толщи на

территории области установлено 17 нефтегазоносных горизонтов, выявлены 60 месторождений нефти и газа (Свищев, 1970). В 1966 г. открыто уникальное по своим запасам, крупнейшее в мире Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение, на базе которого в 1968 г. создано производственное объединение «Оренбурггазпром». Разработаны нефтегазовые и газовые месторождения: Журавлевско-Степановское, Ероховское, Ефремово-Зыковское, Измайловское, Могутовское, Родинское, Бугурусланское. В 1970 г. добыча нефти в регионе составила 7,4 млн т. и добыча продолжала расти. Нефть добывалась насосным и фонтанным способами. Период характеризуется внедрением новых технологий в процессы добычи и сбора пластовой продукции: механизацией спуско-подъемных операций, внедрением метода нагнетания воды в пласт для поддержания и увеличения пластового давления. Особое внимание уделялось повышению эффективности научных исследований, проводимых в Южно-Уральском отделении Всероссийского Научно-исследовательского Государственного Нефтяного Института (ВНИГНИ). Отделением были определены и научно обоснованы главные направления геологопоисковых и разведочных работ, произведен подсчет прогнозных и перспективных запасов нефти и газа, дана оценка перспектив нефтегазоносности осадочных образований, развитых в пределах рекомендованных направлений (Судо, Казанкова, 2003).

*1980 – 1991 гг.* Период падающей добычи, в том числе на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении, спад объемов геологоразведочного производства, в первую очередь - глубокого бурения. Объем добычи нефти стабилизировался на уровне 8,5 млн т/год (Геологическое строение..., 1997).

*1991 – 2005 гг.* Этап посткризисного роста темпов геологоразведочных работ, внедрение современных технологий повышения нефтеотдачи пластов, новейшего оборудования, оптимизация действующих и бурение новых скважин, выявление новых перспективных месторождений. С 1999 по 2004 гг. добыча нефти в Оренбуржье возросла на 90%.

*2005 г. – настоящее время.* Извлекаемые запасы нефти Оренбургской области сосредоточены в 198 месторождениях и составляют 465,6 млн т., однако

наблюдается значительное снижение объемов геологоразведочных работ. Нефтегазовая отрасль занимает 42% в общей доле промышленного производства региона, ежегодно производя более 20 млн т. нефти, более 18 млрд м<sup>3</sup> газа и обеспечивая рабочими местами около 24 тыс. человек. В перспективе планируется активное вовлечение в разработку существующих запасов, реализация программ бурения и геологоразведочных работ (Промышленный комплекс..., 2017).

Масштабы, основные тенденции и динамика трансформации ландшафтов в условиях эксплуатации месторождений нефти и газа анализировались на основе данных, полученных в ходе полевого и дистанционного обследования пятнадцати ключевых участков. Тринадцать из них расположены в областях Волго-Уральского степного региона, четырнадцатый выделен для сравнительного анализа в лесостепной зоне Республики Татарстан (см. рис. 6). Пятнадцатый ключевой участок расположен в северо-восточной части штата Колорадо (США), в границах территории с контролируемым режимом природопользования «Национальное пастбище Пауни» (Pawnee National Grasslands) под управлением Лесной службы США. Общая площадь нефтегазопромысловых ландшафтов в границах ключевого участка составила около 200 км<sup>2</sup> (рис. 7).

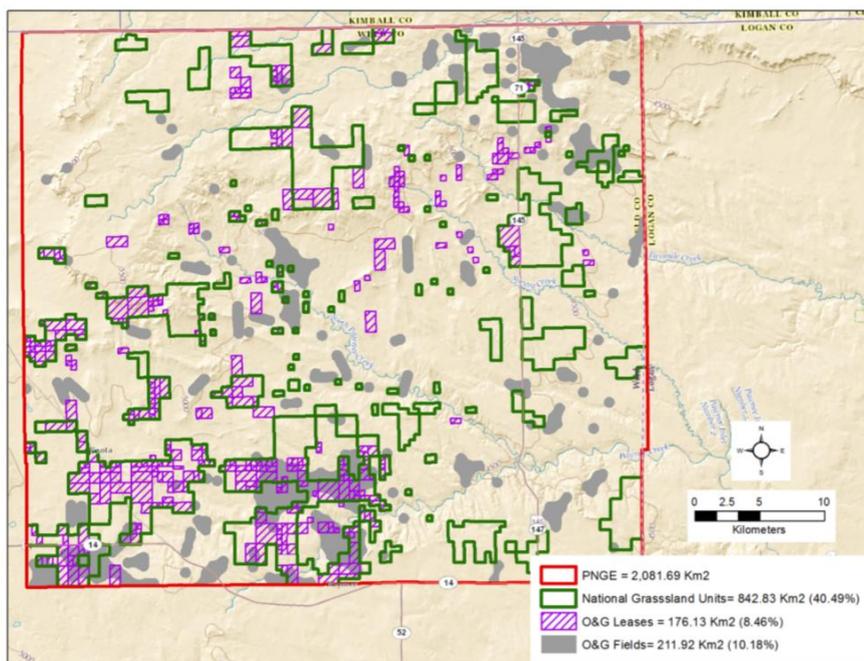


Рисунок 7. Ключевой участок исследования №15 в штате Колорадо: красным цветом обозначены его границы, зеленым - границы участков

«Национального пастбища Пауни», фиолетовым – лицензионные участки недропользования, серым – ареалы месторождений нефти и газа (источник: Baynard и др., 2017).

«Национальное пастбище Пауни» (НПП) является частью так называемых Великих равнин степной зоны с семиаридным климатом, преимущественно травяным растительным покровом, низкой и неравномерной обводненностью территории, количеством осадков около 400 мм/год, доминированием сухих ветреных дней в течение большей части года. Сочетание земель различной формы собственности (федеральных, региональных, частных) на территории НПП обусловило разнообразие форм производственной деятельности, включающей добычу нефти и газа, выпас скота, производство ветровой энергии. Землепользование в штате Колорадо регулирует бюро по землеустройству. Основная площадь НПП (90%) открыта для добычи нефти и газа, но на некоторых участках не разрешено размещать буровые установки и цистерны для сбора углеводородов, а также перемещать крупногабаритные элементы нефтегазодобывающей инфраструктуры (Jaffe, 2015). Частным компаниям-недропользователям иногда позволяется использовать горизонтальное бурение под государственными землями для доступа к арендованным нефтегазовым месторождениям (Milligan и др., 2014).

Исследования на участке штата Колорадо выполнялись автором в составе международного научного коллектива. Изменения ландшафтов под воздействием добычи нефти и газа выявлялись как в ходе наземных полевых работ, так и по данным дистанционного зондирования.

Ключевые участки выделялись в пределах нефтегазовых месторождений с различными сроками эксплуатации (табл. 2). Такая выборка доказывает научную репрезентативность ключевых участков и возможность интерполяции полученных результатов на схожие ландшафты.

Таблица 2. Ключевые участки исследования трансформации ландшафтов в условиях нефтегазодобычи

№	Год начала разработки	Площадь участка, км <sup>2</sup>	Месторождения нефти и газа в пределах участка	Административное местоположение
1	1989	100	Прибрежное Центральное Мальшевское	Волгоградская область
2	1959	100	Покровское	Самарская область
3	1977	100	Соринско-Дзержинское Карасевское Никоновское	Самарская область
4	1990	100	Разумовское Западно-Вишневское	Саратовская область
5	1947	100	Мухановское Дмитриевское	Самарская область
6	1969	100	Герасимовское	Самарская - Оренбургская области
7	1961	150	Бобровское	Оренбургская область
8	1982	100	Росташинское	Оренбургская область
9	1966	100	Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение	Оренбургская область
10	1988	100	Загорское	Оренбургская область
11	1986	100	Боголюбовское Кодяковское Балейкинское	Оренбургская область
12	1961	100	Самодуровское	Оренбургская область
13	1941	100	Красноярское Завьяловское	Оренбургская область
14	1949	100	Бавлинское	Республика Татарстан
15	1998	200	--	Штат Колорадо, США

#### 2.4. Социально-экономическая ситуация в районах нефтегазодобычи в аспекте развития трансформированных ландшафтов

Полимасштабность воздействия и последствий (ее четвертая сторона) подразумевает многогранный эффект на окружающую действительность, в том числе – на социально-экономические характеристики территориального образования и качество жизни населения. Изменения в ландшафтах, происходящие в ходе природопользования, играют одну из основных ролей в

формировании состояния эколого-социально-экономической системы на каждой ступени полимасштабной географической шкалы - на уровне стран, регионов и более мелких административных образований (Mainguet, 1991; Yang, Zhang, 2005; Ahmed, 2015; Кравцова, Чалова, 2016). Эколого-социально-экономические сценарии развития нефтегазоносных территориальных образований определяются разрушением существующей ландшафтной структуры в результате многочисленных пересечений зонами воздействия объектов нефтегазодобычи, частичной стагнацией сельскохозяйственного производства, усилением поляризации регионов и муниципальных образований по уровню геоэкологической комфортности и качеству жизни населения.

В нефтегазоносных регионах значительная часть населенных пунктов тесно соседствует с эксплуатируемыми месторождениями (рис. 8), в ряде случаев формируются заметные различия в геоэкологической и социально-экономической ситуации и качестве жизни населения в нефтегазоносных районах и районах без нефтегазодобывающего производства. Эти различия определяют суть территориального неравенства, переходящего, как правило, в диспропорции территориального развития, которые являются объективным следствием концентрации преимуществ или недостатков на одних территориях и их отсутствия или незначительного присутствия на других.

Существует множество методических подходов к анализу взаимосвязи экономического роста территории в результате развития промышленного производства и его воздействия на окружающую среду (Lee, 2015; Miao и др., 2016; Estoque, Murayama, 2017; das Neves Almeida, 2017; Lomas, Giampietro, 2017). Основной целью большинства исследований на эту тему является создание единого графика корреляции между экономическим ростом и экологическими последствиями (Estoque, Murayama, 2017; Anderies и др., 2004; Redman и др., 2004; Ostrom, 2009). Считается, что выявленные закономерности должны помочь в достижении сбалансированного эколого-социально-экономического развития.

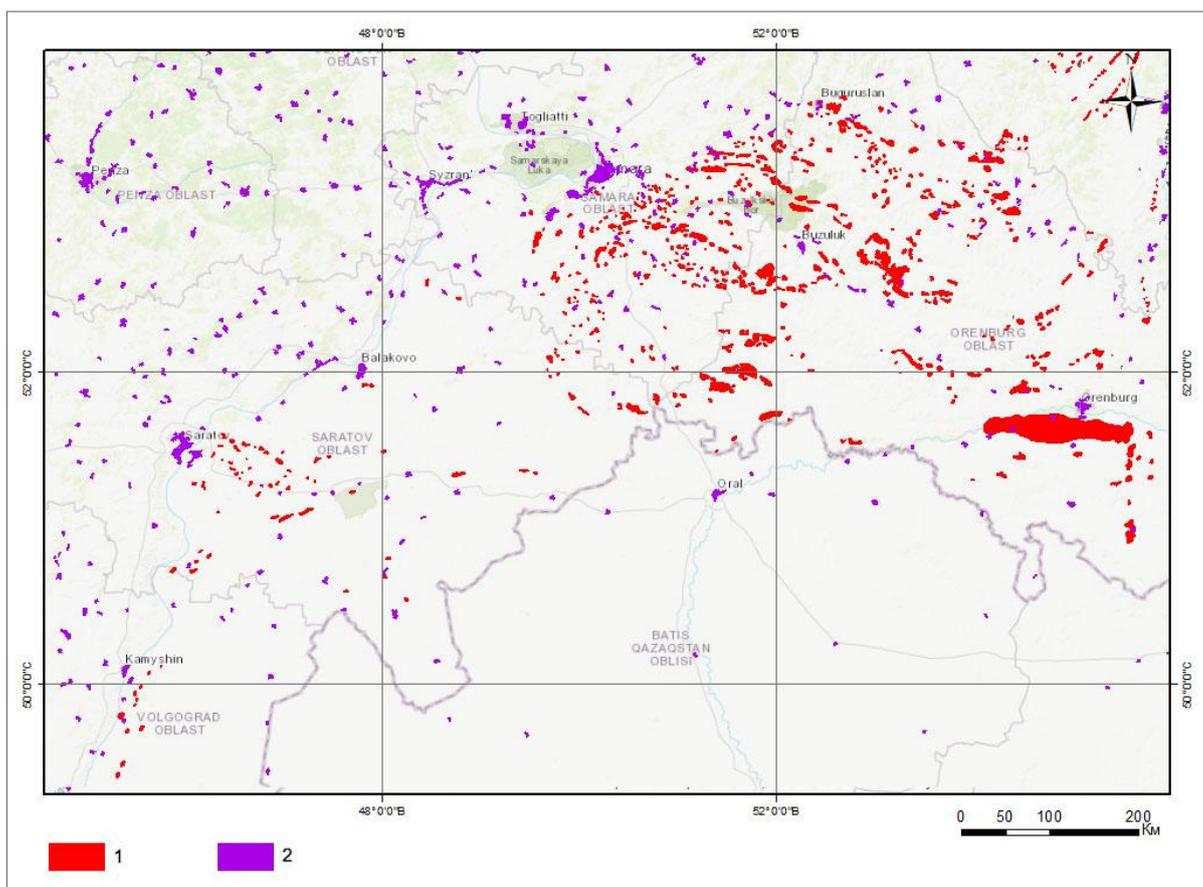


Рисунок 8. Тесное взаиморасположение населенных пунктов и нефтегазовых месторождений: 1 – нефтегазовые месторождения Волго-Уральского степного региона, 2 – населенные пункты.

Ожидается, что промышленность в целом и добыча нефти и газа в частности обеспечивает социально-экономические выгоды как для региона, так и за его пределами, компенсируя испытываемые населением геоэкологические неудобства. Так, разработка нефтегазовых месторождений в Пермском бассейне юго-западной окраины Северо-Американской платформы (штаты Техас, Нью-Мексико и Оклахома) и сопутствующие ей виды деятельности (проектирование и строительство объектов, увеличение объемов реализуемых товаров и услуг, создание логистической сети, активизация финансовой деятельности и пр.) влекут за собой значительные экономические выгоды для региона (рост инвестиций, повышение оплаты труда), а также являются важными источниками занятости. На компании, ведущие добычу нефти и газа, возложены определенные обязательства, включающие, в том числе, систематические отчеты о количестве созданных

рабочих мест (The Economic Impact..., 2010; Economic Impact..., 2012; The Economic Impact..., 2014). Регионы нефтегазодобычи имеют более низкие показатели безработицы, чем по стране в целом. Например, к 2013 г. в нефтегазовой промышленности Пермского бассейна США была организована почти четверть миллиона рабочих мест, более 400 тыс. из них - в штате Техас. Высокие налоговые поступления способствуют стабильному росту экономики и социально-экономическому развитию как государства в целом, так и нефтегазоносных регионов. Доходы от нефтегазодобывающей промышленности используются для финансирования образовательных учреждений и учреждений здравоохранения по всему штату Нью-Мексико (The Economic Impact..., 2010). Жители нефтегазодобывающих штатов также получают определенные финансовые преференции как компенсацию возможных эколого-социальных неудобств: разнообразные налоговые льготы и локализованные выплаты. Заработная плата занятых в нефтегазовом секторе в среднем на 22% выше, чем средняя заработная плата в штате. Работа в указанной отрасли не требует, по большей части, высокого уровня образования, поэтому отрасль является важным источником хорошо оплачиваемых рабочих мест в сельских и малонаселенных районах (The Economic Impact..., 2010; Economic Impact..., 2012; The Economic Impact..., 2014).

Некоторые исследователи полагают, что на начальных этапах экономического развития отрасли приоритетом является лишь ее подъем, что приводит к высокому уровню потребления ресурсов и пониженному вниманию к охране окружающей среды (Kaika, Zervas, 2013). Далее, по мере успешного развития производства, закономерно должны расти финансовые затраты на природоохранные технологии и внимание к ее экологической составляющей. Ожидается общий рост затрат на экосистемные услуги, что и происходит в ряде районов с интенсивной нефтегазодобычей (Moran и др., 2017). Однако часть авторов считает, что улучшение геоэкологической ситуации происходит лишь до определенного момента, после которого экологический ущерб снова начинает расти на фоне продолжающегося роста экономики (Egli, Steger, 2007). Различные

точки зрения на проблему объясняются, вероятнее всего, использованием разных исследовательских подходов и специфическими особенностями регионов (Stern, 2004; Zhao и др., 2013; Ahmed, Long, 2012; Morse, 2008; Chowdhury, Moran, 2012; Brajer и др., 2011; Tevie и др., 2011). Как правило, исследователи анализируют ситуацию исходя из собственной системы показателей - индикаторов устойчивого развития, характеризующих динамику состояния экономической, социальной и экологической сфер территориального образования. Используемые показатели базируются на опыте исследовательских групп, учитывающем, в той или иной мере, мировые разработки в области подсчета мировых интегральных экологических индексов: Агрегированного индекса «живой планеты» (Living Planet Index), Индекса экологической устойчивости (Environmental Sustainability Index), Индекса экологической эффективности (The Environmental Performance Index), Индекса «Экологического следа» (Белик и др., 2015; Индикаторы устойчивого развития..., 2001; Тарасова, Кручина, 2017). Согласно Н.П. Тарасовой и соавторам (2017), одна из самых полных по охвату систем индикаторов (показателей) устойчивого развития разработана Комиссией Организации объединенных наций по устойчивому развитию. Согласно этой системе, индикаторы разбиты на основные группы: индикаторы социальных, экономических, экологических и институциональных аспектов устойчивого развития. Тем не менее, для каждого конкретного случая система показателей требует адаптации и корректировки с учетом конкретных условий изучаемой территории.

Учитывая как плюсы, так и минусы, связанные с присутствием нефтегазодобывающей отрасли в границах территориального образования, можно ожидать проявления ряда положительных и отрицательных внутренних и внешних факторов, являющихся как следствием функционирования нефтегазодобывающего производства, так и обрисовывающих перспективы регионального развития (табл. 3).

Таблица 3. Внешние и внутренние факторы развития нефтегазоносного административного образования

ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА	ВНЕШНЯЯ СРЕДА
<p align="center"><b>СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ</b></p> <p>Высокие (относительно среднего по региону) доходы муниципального образования в результате добычи углеводородов. Разветвленная дорожная сеть. Массовое трудоустройство с более высокой (относительно средней по районам) заработной платой.</p>	<p align="center"><b>ВОЗМОЖНОСТИ</b></p> <p>Повышение доходов территориального образования и отдельных сельхозтоваропроизводителей в результате аренды земель и размещения объектов добычи и переработки. Повышение культурно-социального статуса и возможностей населения при высоких зарплатах. Развитие социально-бытовой и культурной инфраструктуры муниципалитетов. Обустройство социально значимых природных объектов.</p>
<p align="center"><b>СЛАБЫЕ СТОРОНЫ</b></p> <p>Высокая аварийность и низкая экологичность объектов нефтегазодобычи. Формирование массивов заброшенных сельскохозяйственных земель. Невозможность ведения экологически чистого сельского хозяйства. Размещение крупных свалок производственного и бытового мусора. Истощение водоемов в зонах влияния месторождений.</p>	<p align="center"><b>УГРОЗЫ</b></p> <p>Полная деградация сельскохозяйственного производства. Возможность крупных техногенных аварий, в том числе в пределах селитебных земель. Возникновение зон геоэкологических проблем и кризиса.</p>

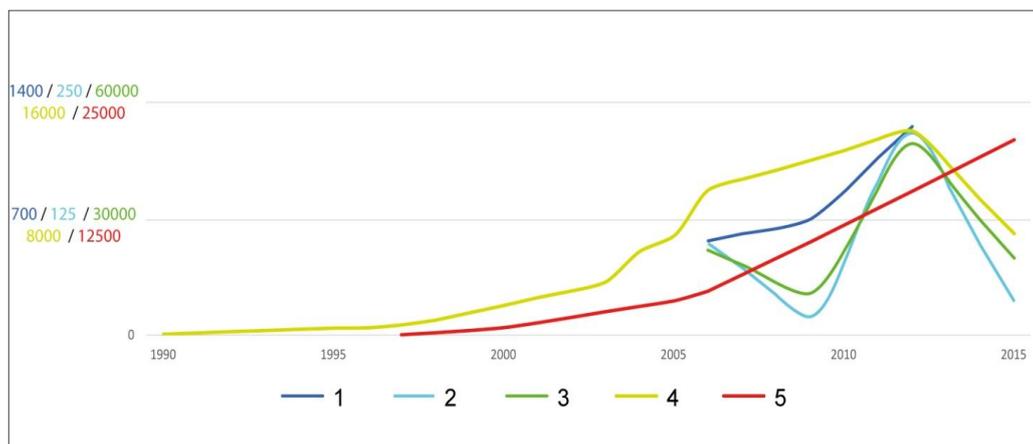
Согласно концепции устойчивого развития ожидается, что некоторые статистические показатели по исследуемым нефтегазоносным районам – занятость, производительность, заработная плата, капитал, прибыль, здравоохранение – должны расти с началом освоения нефтегазоносных площадей, а другие, отражающие, например уровень безработицы, иммиграции, преступности – сокращаться. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы анализировалась социально-экономическая ситуация в пяти муниципальных районах Оренбургской области - Новосергиевском, Курманаевском, Пономаревском, Асекеевском, Северном и Сорочинском, в экономике которых основную роль играет добыча нефти и газа. Специфика указанных районов, так же, как и Оренбургской области в целом, такова, что нефтегазодобывающее производство вносит наибольший вклад в развитие их

экономики: нефтегазовая отрасль занимает 42% в общей доле промышленного производства региона, при этом обеспечивая рабочими местами чуть более 1% населения области (Промышленный комплекс..., 2017). Для объективизации оценки дополнительно выполнен сравнительный анализ социально-экономической ситуации двух муниципальных образований, в которых отсутствует нефтегазодобыча - Адамовского и Домбаровского районов, расположенных на востоке области. Ведущим сектором в экономике Адамовского и Домбаровского районов является сельскохозяйственное производство. Иными словами, оценивалась связь социально-экономических характеристик муниципальных образований Оренбургской области с наличием нефтегазодобывающего природопользования. Для анализа использован комплекс показателей, представленный в таблице 4 (Мячина, 2017).

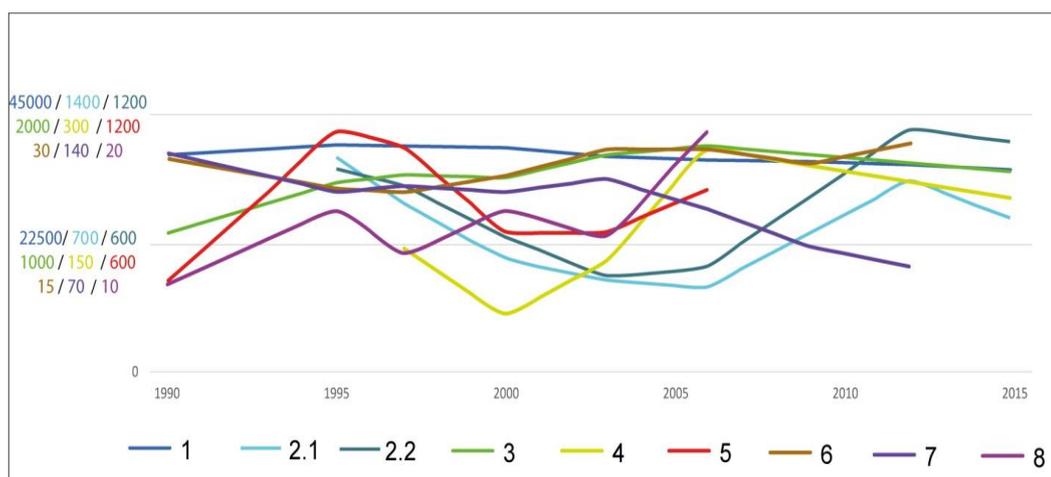
Таблица 4. Анализируемые показатели социально-экономической ситуации в нефтегазоносных и не-нефтегазоносных муниципальных образованиях Оренбургской области

№	Показатели экономических аспектов развития
Э1	Объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности "Добыча полезных ископаемых", млн.руб.
Э2	Затраты на охрану окружающей среды, тыс.руб
Э3	Платежи при пользовании природными ресурсами, тыс.руб.
Э4	Инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.
Э5	Среднемесячная з/п работников крупных и средних предприятий, руб.
	Показатели социальных аспектов развития
С1	Численность населения, чел.
С2.1/С2.2	Миграция (число прибывших/убывших)
С3	Число умерших, на 100 000 чел. населения
С4	Численность официально зарегистрированных безработных, чел.
С5	Заболеваемость, число заболевших с впервые установленным диагнозом, чел./1000
С6	Обеспеченность населения врачами, чел./10000 чел. населения
С7	Обеспеченность населения больничными койками, чел./10000 чел населения
С8	Число зарегистрированных уголовных преступлений на 1000 чел. населения

Сравнительная динамика всех представленных в таблице 4 показателей показана на рисунке 9 - для Новосергиевского нефтегазодобывающего района, на рисунке 10 – для Адамовского района, где не осуществляется добыча нефти и газа. Источник данных - территориальный орган Федеральной службы государственной статистики.



а)

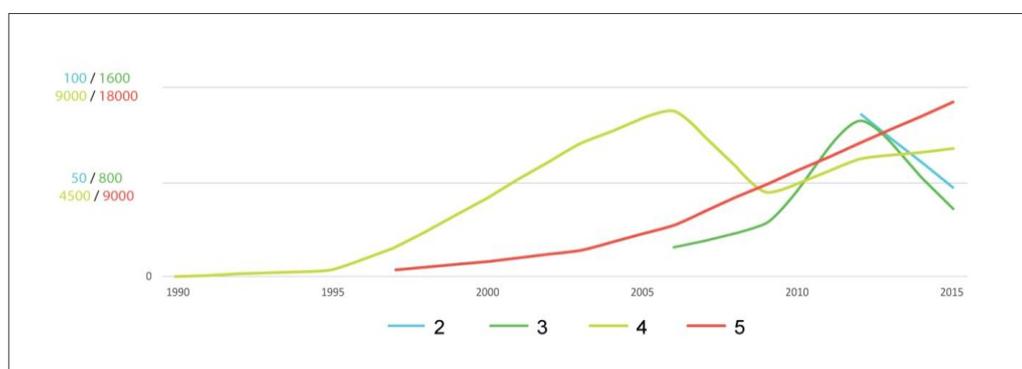


б)

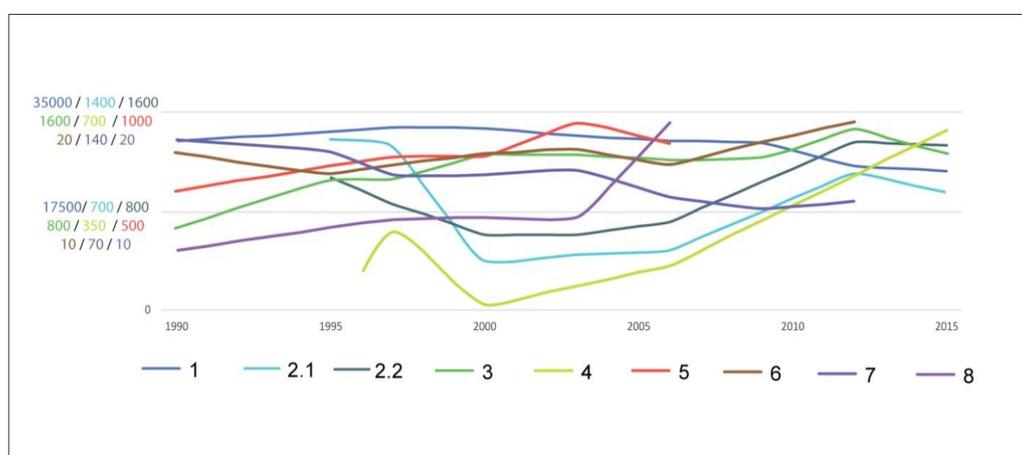
Рисунок 9. Динамика социально-экономических показателей Новосергиевского района:

а) –показатели экономических аспектов развития, где 1 - объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых», млн руб., 2 – затраты на охрану окружающей среды, тыс.руб., 3 - платежи при пользовании природными ресурсами, тыс.руб., 4 - инвестиции в основной капитал на душу населения, руб., 5 - среднемесячная з/п работников крупных и средних предприятий, руб.

б) – показатели социальных аспектов развития, где 1 - численность населения, чел., 2.1 - число прибывших, 2.2 – число убывших (миграция), 3 - число умерших на 100 000 чел. населения, 4 - численность официально зарегистрированных безработных, чел., 5 - заболеваемость, число заболевших с впервые установленным диагнозом, чел./1000 чел., 6 - обеспеченность населения врачами, чел./10000 чел. населения, 7 - обеспеченность населения больничными койками, чел./10000 чел населения, 8 - число зарегистрированных уголовных преступлений на 1000 чел. населения.



а)



б)

Рисунок 10. Динамика социально-экономических показателей Адамовского района:

а) –показатели экономических аспектов развития, где 2 – затраты на охрану окружающей среды, тыс.руб, 3 - платежи при пользовании природными

ресурсами, тыс.руб., 4 - инвестиции в основной капитал на душу населения, руб., 5 - среднемесячная з/п работников крупных и средних предприятий, руб.

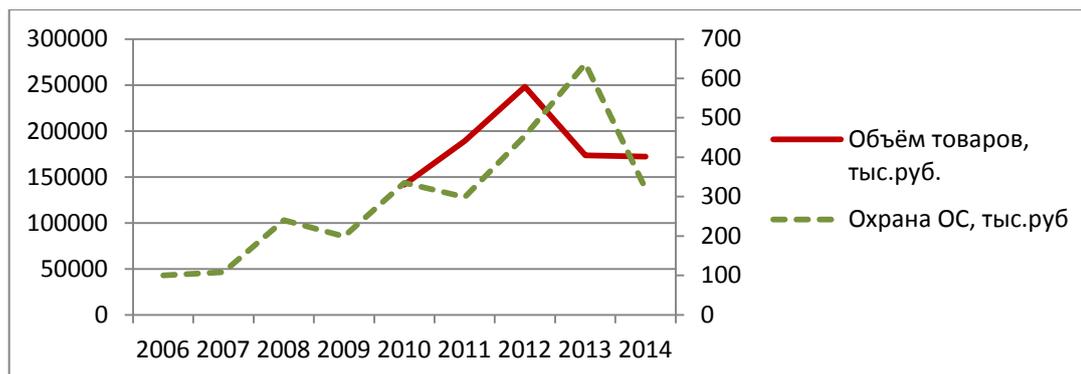
б) – показатели социальных аспектов развития, где 1 - численность населения, чел., 2.1 - число прибывших, 2.2 – число убывших (миграция), 3 - число умерших на 100 000 чел. населения, 4 - численность официально зарегистрированных безработных, чел., 5 - заболеваемость, число заболевших с впервые установленным диагнозом, чел./1000 чел., 6 - обеспеченность населения врачами, чел./10000 чел. населения, 7 - обеспеченность населения больничными койками, чел./10000 чел населения, 8 - число зарегистрированных уголовных преступлений на 1000 чел. Населения

Из рисунка 9 следует, что с ростом показателя Э1 «Объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» в Новосергиевском нефтегазоносном районе возрастают затраты на охрану окружающей среды (Э2) и платежи при пользовании природными ресурсами (Э3). При этом кривая динамики инвестиций в основной капитал на душу населения также коррелирует с динамикой показателей Э1 и Э2. За анализируемый период в районе наблюдается рост среднемесячной заработной платы работников крупных и средних предприятий. Однако схожий рост заработной платы работников, вкуче с аналогичной динамикой колебания затрат на охрану окружающей среды, платежей при пользовании природными ресурсами и инвестиций в основной капитал на душу населения прослеживается и в Адамовском районе, где не ведется добыча нефти и газа (рис. 10). Можно предположить, что динамика вышеуказанных показателей связана с иными факторами влияния, не связанными с разработкой месторождений нефти и газа.

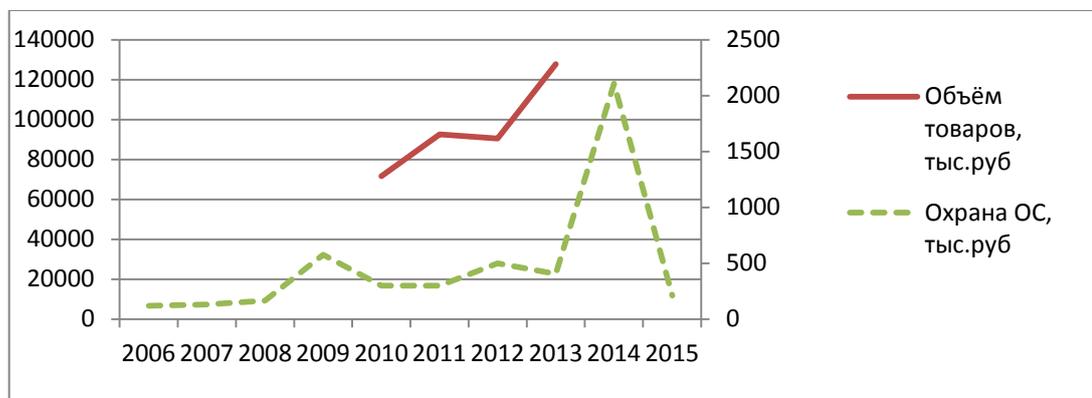
В динамике социальных показателей вышеуказанных районов также наблюдаются схожие тренды, кроме показателя С4 «Численность официально зарегистрированных безработных». В Новосергиевском нефтегазоносном районе этот показатель устойчиво снижается с 2005 г., в то время как в Адамовском районе – напротив, интенсивно возрастает (см. рис. 9, 10). Поэтому справедливо

будет отметить, что предприятия по добыче полезных ископаемых в Новосергиевском районе повышают количество предоставляемых рабочих мест, то есть выполняют одну из своих основных социально-экономических функций.

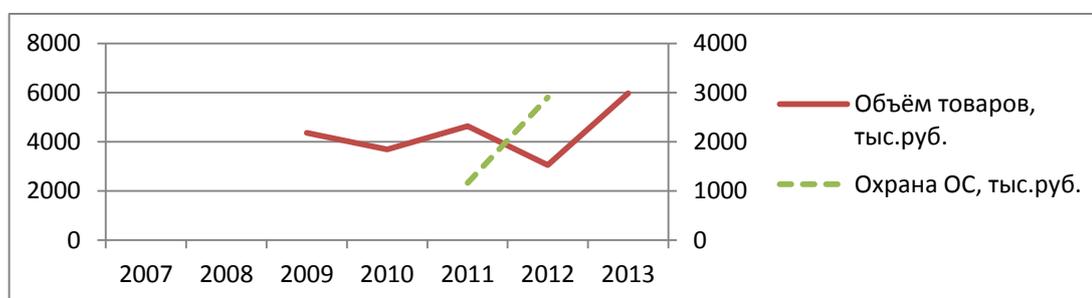
К сожалению, в остальных анализируемых нефтегазоносных районах не выявляется сходства между кривыми роста показателя Э1 «Объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» и показателя Э2 - затрат на охрану окружающей среды (рис. 11).



а)



б)

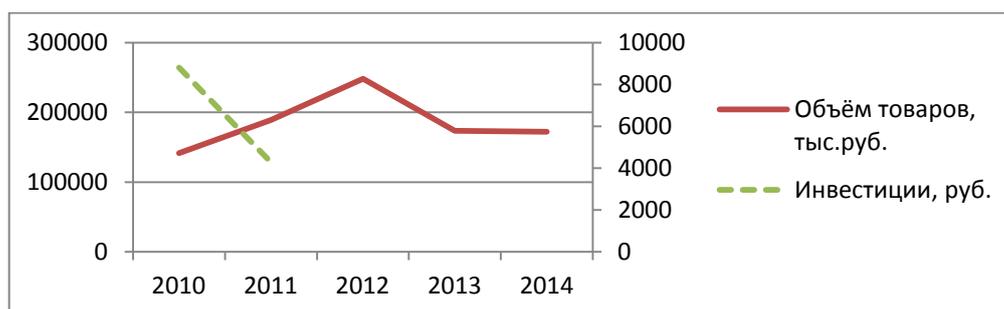


в)

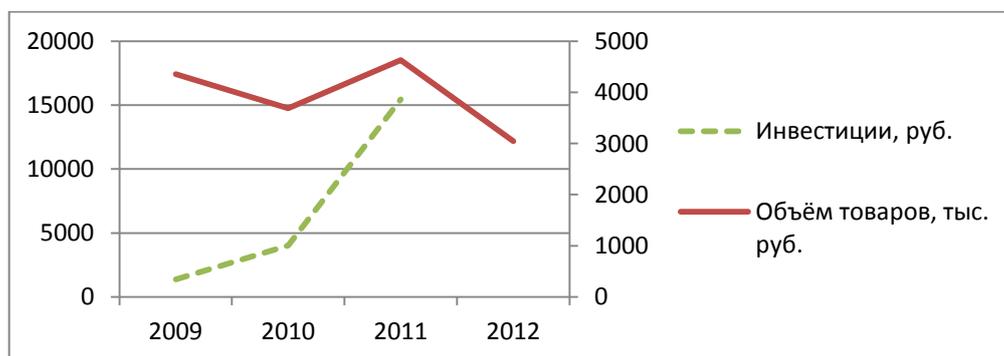
Рисунок 11. Динамика показателей Э1 «Объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» и Э2

«Затраты на охрану окружающей среды» для Асекеевского (а), Северного (б), Сорочинского (в) нефтегазоносных районов Оренбургской области.

Предпосылки экономического и социального развития территориального образования определяются объемом инвестиций в основной капитал на душу населения, инвестиционным климатом и уровнем инвестиционной активности. Капиталовложения в основные средства здесь играют значительную роль, поскольку являются необходимым условием обеспечения эффективного развития отраслей экономики, стабильного функционирования базовой инфраструктуры, достижения устойчивого экономического роста территориального образования. Для районов нефтегазодобычи также не обнаруживается корреляции между кривыми изменений показателя Э1 и показателя Э4 - объемом инвестиций в основной капитал (рис. 12).



а)



б)

Рисунок 12. Динамика показателей Э1 «Объем произведенных товаров, работ и услуг по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» и Э3

«Инвестиции в основной капитал на душу населения» для Асекеевского (а) и Сорочинского (б) нефтегазоносных районов.

Рост показателей инвестиции в нефтегазодобывающих районах в расчете на душу населения может объясняться такими факторами, как колебания цены на нефть и/или уменьшение общей численности населения территориального образования (показатель С1), которая неуклонно падает за счет высоких показателей миграции (показатель С2) и стабильно высоких показателей смертности (показатель С3), превышающих по каждому нефтегазоносному району среднеобластной уровень.

Выявлено, что показатели смертности в районах, где не ведется добыча нефти и газа ниже, чем в нефтегазодобывающих районах, и не превышают региональных показателей. Средние показатели смертности по области в целом значительно ниже средних по стране, однако показатели смертности в районах нефтегазодобычи выше среднеобластного показателя как минимум в последние 20 лет (табл. 5).

Таблица 5. Динамика показателей смертности в районах Оренбургской области (О промышленном производстве..., 2017)

Год	Число умерших на 100000 населения						
	Средн. по стране	Средн. по области	Новосергиевский район <sup>+</sup>	Курманаевский район <sup>+</sup>	Пономаревский район <sup>+</sup>	Адамовский район	Домбаровский район
1990	13200	970	1080	1110	1200	650	760
1995	16500	1360	-	-	-	1050	940
1997		1270	1520	1380	1460	1040	870
2000	1710	1440	1500	1450	1450	1240	1170
2003	1840	1520	1670	1700	1840	1240	1260
2006	1740	1480	1739	1690	1760	1200	1170
2009	1630	1430	-	1637	-	1206	-
2012	1480	1410	-	-	-	1446	1394
2015	1440	1400	-	-	1780	1246	1583
2016	1420	1350	498	294	-	281	180
2017	1370	1330	546	280	-	318	204
2018	1360	1330	468	265	-	290	164

<sup>+</sup> район относится к нефтегазодобывающим

Проанализирована общая тенденция динамики населения в нефтегазоносных Новосергиевском и Курманаевском муниципальных районах и в районах без нефтегазодобычи – Адамовском и Домбаровском. На рисунке 13 представлены практически аналогичные графики снижения численности населения в каждом из четырех районов, невзирая на стабильное развитие нефтегазодобывающей отрасли и связанный с этим рост числа рабочих мест в Новосергиевском районе.

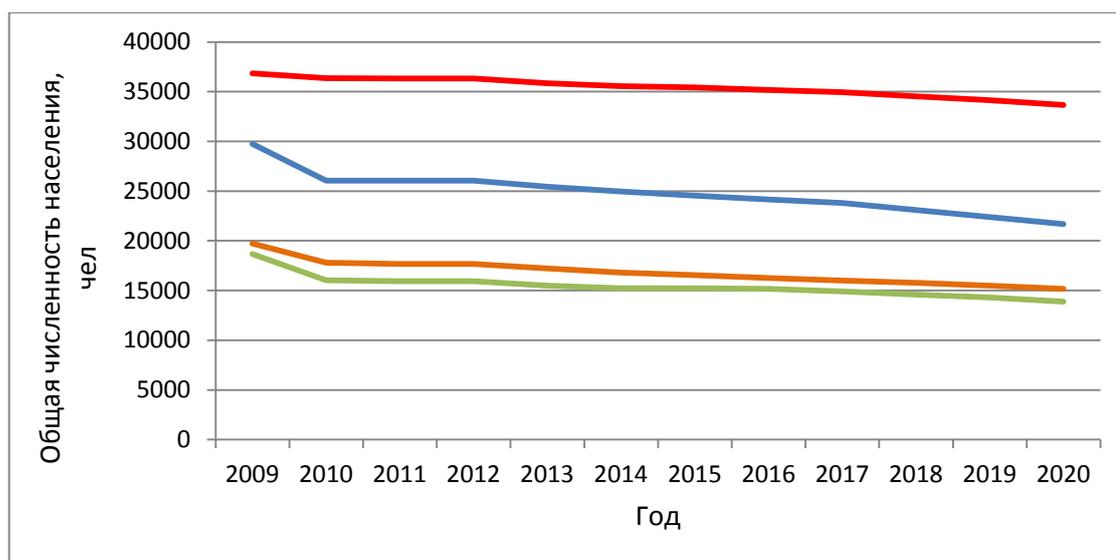


Рисунок 13. Снижение численности населения Оренбургской области: в Новосергиевском (красн.), Курманаевском (оранжев.) нефтегазоносных районах; Адамовском (син.), Домбаровском (зелен.) районах без нефтегазодобычи.

Снижение общей численности населения является результатом его естественной убыли, низкой рождаемости и миграционного оттока. На рисунке 14 показаны тенденции естественного прироста / убыли населения в четырех анализируемых районах. Как видно, несмотря на периодические пики, сохраняется общая тенденция к снижению прироста и его перехода в убыль, в том числе в районах с нефтегазодобычей.

Рисунок 15 демонстрирует снижение миграционного притока и его переход в миграционный отток для каждого из четырех анализируемых районов.

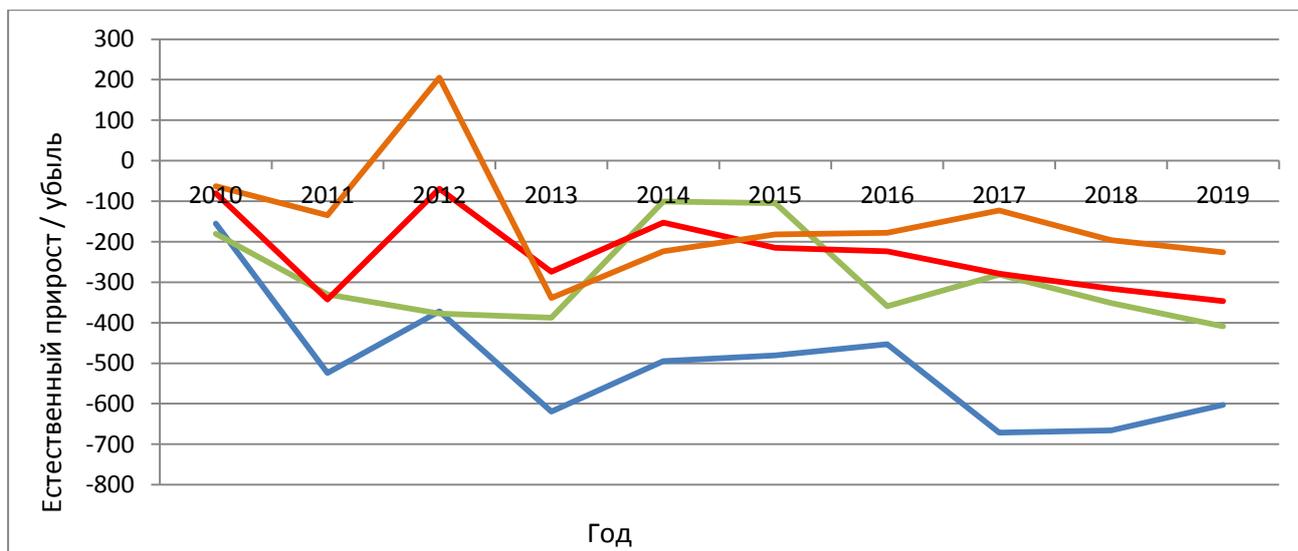


Рисунок 14. Отрицательные тренды естественного прироста населения в Новосергиевском (красн.), Курманаевском (оранжев.) нефтегазоносных районах; Адамовском (син.), Домбаровском (зелен.) районах без нефтегазодобычи.

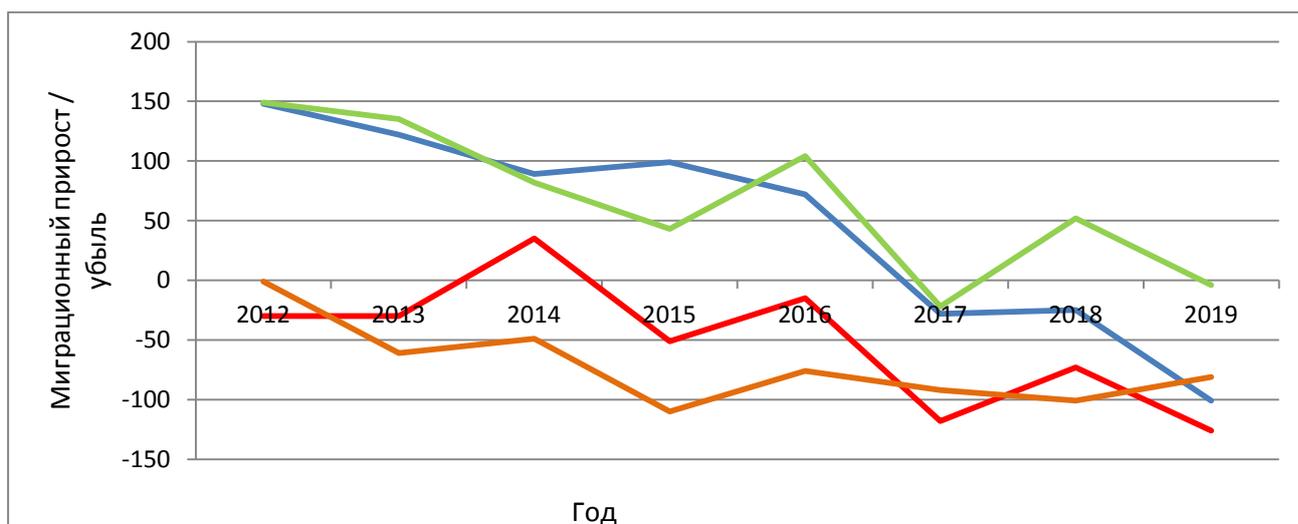


Рисунок 15. Миграционная убыль населения в Новосергиевском (красн.), Курманаевском (оранжев.) нефтегазоносных районах; Адамовском (син.), Домбаровском (зелен.) районах без нефтегазодобычи.

Наличие нефтегазодобывающего производства на территории муниципального образования не способствует формированию факторов, способных удержать население от поиска более комфортных и перспективных условий жизни.

Устойчивый миграционный отток населения из районов области наряду со снижением притока можно связать с повышением уровня безработицы - число официально зарегистрированных безработных в районах (показатель С4) стабильно возрастает до 2006 г., причем подобная ситуация наблюдается во всех анализируемых районах независимо от их экономической специализации.

В исследуемых районах Оренбургской области, как и в целом по стране, возрастает среднемесячная заработная плата работников крупных и средних предприятий (показатель Э5), что можно объяснить и стандартными факторами - индексацией заработной платы, изменениями в законодательстве и т.п. Несомненно, что при подсчетах среднемесячной заработной платы населения в нефтегазоносных районах существенную роль играют доходы лиц, занятых на предприятиях по добыче нефти и газа. Однако и в этих районах среднемесячная заработная плата всех категорий занятого населения отнюдь не во всех случаях превышает значения аналогичного показателя по районам без нефтегазодобычи, и, как правило, находится ниже регионального показателя и показателя по стране (табл. 6).

Таблица 6. Среднемесячная заработная плата в муниципальных образованиях Оренбургской области (О промышленном производстве..., 2017)

Год	Среднемесячная заработная плата по административным образованиям, руб							
	Средн. по стране	Средн. по области	Средн. по подразделу "Добыча сырой нефти и природного газа"*	Новосергиевский район <sup>+</sup>	Курманаевский район <sup>+</sup>	Пономаревский район <sup>+</sup>	Адамовский район	Домбаровский район
1997	-	798,0	-	414,9	517,9	465,5	533,7	572,6
2000	2223,4	1848,8	-	1077,8	976,1	1016,8	1225,2	1337,1
2003	5498,8	3898,1	12712,6	2852,0	2572,0	2398,0	2514,0	2390,0
2006	10633,9	7685,1	19848,6	5006,0	6497,0	4698,0	4934,0	4848,0
2009	18637,5	13520,2	31468,3	10166,8	10940,0	9742,8	-	-
2012	26628,9	19270,8	39874,5	15533,3	-	12337,9	-	-
2015	34029,5	24591,0	51351,5	20949,9	18065,4	17315,8	23899,1	16506,5
2016	36709,0	-	-	25066,2	20107,9	16924,5	17932,8	24809,0
2017	39167,0	-	-	-	-	18141,7	18725,4	30883,0
2018	43724,0	32231,0	-	-	-	22015,1	21389,1	34488,6

<sup>+</sup> район относится к нефтегазодобывающим

Неблагоприятные экологические факторы, даже при невысоком уровне воздействия могут вызывать значительные расстройства здоровья населения, включая заболеваемость новообразованиями (Бериев, Тезиев, 2018). При анализе показателей заболеваемости населения в целом по Оренбургской области, являющейся лидером не только по добыче нефти и газа в Волго-Уральском степном регионе (Промышленность Оренбургской области..., 2017), выявлено, что в структуре первичной заболеваемости населения лидируют болезни органов дыхания – 42,9%, причем ежегодно наблюдается явный тренд к увеличению заболеваемости, растет удельный вес смертности от болезней органов дыхания. Кроме того, в многолетней динамике показатель первичной заболеваемости новообразованиями по области является стабильно высоким и превышает не только показатель по Приволжскому федеральному округу - в среднем на 10,2 %, но и в целом по Российской Федерации - в среднем на 11,2 % (Государственный доклад..., 2018). Кроме того, согласно некоторым исследованиям, у детей, проживающих в регионах с загрязнением почвы нефтепродуктами на уровне 1%, могут развиваться тяжелые медикогенетические последствия (Джамбетова др., 2009).

Ежегодно в исследуемых районах независимо от их экономической специализации наблюдается увеличение количества зарегистрированных преступлений. Уже в 2006 г. этот показатель по районам превышает показатели 1990 г. в 2,5-3 раза, несмотря на снижение общей численности населения территорий.

Данные полевых исследований автора свидетельствуют о возрастании социально-бытовых сложностей и геоэкологических проблем в жизни жителей нефтегазодобывающих районов: разбитые нефтяным большегрузным транспортом дороги общественного пользования; частый неприятный запах как результат функционирования множества факелов по сжиганию попутного нефтяного газа (подробнее см. подгл. 3.7); массивы нарушенных земель, образовавшиеся в местах действующих и ликвидированных объектов нефтегазопромыслов – это лишь неполный перечень геоэкологически и социально

значимых последствий разработки месторождений нефти и газа в Волго-Уральском степном регионе.

В таблице 7 представлен ряд междисциплинарных показателей по областям, входящим в состав Волго-Уральского степного региона и характеризующих их эколого-социально-экономическое состояние (Территориальный орган..., 2020; Посевные площади..., 2020). Для сравнения предложены аналогичные характеристики Республики Татарстан (лесостепная зона), занимающей второе место по добыче нефти среди субъектов Российской Федерации. Нефтегазохимическая отрасль - один из основных бюджетобразующих секторов экономики Республики Татарстан.

Таблица 7. Междисциплинарные показатели состояния областей Волго-Уральского степного нефтегазоносного региона и Республики Татарстан

Регионы РФ		Оренбургская область	Самарская область	Саратовская область	Волгоградская область	Республика Татарстан
Площадь, тыс. км <sup>2</sup>		123,702	53,565	101,240	112,877	67,847
Кол-во населения, тыс. чел.	2000	2211,204	3291,598	2710,645	2738,531	3789,688
	2010	2033,721	3215,532	2521,892	2610,161	3786,488
	2020	1956,835	3179,532	2421,895	2491,036	3902,888
Соотношение площадей леса/пашни, тыс.га	2003	696 /6092,0	764/ 3004,7	713/ 5783,4	705/ 5689,3	1270/ 3478,8
	2010	710/ 4055,68	760/ 1830,71	733/ 3603,94	699/ 2723,62	1271/ 2937,83
	2019	722/ 4273,65	766/ 2113,55	736/ 4061,02	697/ 3146,12	1272/ 2947,08
Соотношение объемов добычи полезных ископаемых/сельскохозяйственное производство, млн.руб.	2005	89821/ 31430	55566/ 26557	10075/ 36950	16004/ 33735	197226/ 66071
	2010	215381/ 47708	107163/ 38105	13703/ 67085	29042/ 60161	308189/ 98044
	2018	542497/ 107971	368183/ 88976	42026/ 129175	63480/ 128275	689612/ 226034
Количество врачей на 10000 населения	2000	48,5	47,7	49,5	47,4	44,3
	2010	52,2	47,7	52	50,5	44,2
	2018	46,7	47,7	50,5	45,1	42,2

Доход на душу населения, тыс.руб.	2000	1,4	2,6	1,5	1,6	1,8
	2010	13,4	20,3	12	14,1	18,2
	2019	24,5	29,4	30,7	33,4	37,4
ВРП, тыс.руб.	2000	35	43	23	23	49
	2010	223	215	146	167	265
	2018	508	474	291	339	634
Выбросы в атмосферу, тыс.т	2000	530	327	99	363	279
	2010	617	308	95	201	263
	2018	508	218	118	145	394

Представленные в таблице 7 данные демонстрируют неравномерность распределения доходов на душу населения в регионах нефтегазодобычи, разницу региональных экологических показателей, убыль населения во всех областях Волго-Уральского степного региона.

Проблема негативного воздействия нефтегазодобычи на среду и население актуальна и для других нефтегазоносных регионов России. Так, согласно Н.Е. Красноштановой (2017), исследующей взаимодействие нефтегазодобывающих компаний Восточной Сибири (Иркутская область) с местным населением, наиболее важным аспектом развития этой отрасли недропользования жители нефтегазоносных районов называют необходимость сохранения привычной геоэкологической обстановки. Обеспокоенность вопросами экологии тем выше, чем меньше населенный пункт, что связано с родом деятельности жителей. В сельских поселениях большое количество людей занимаются традиционными видами деятельности (охотой, рыбалкой, собирательством), на которую развитие нефтегазовой промышленности влияет прямым образом на всех этапах процесса освоения месторождения - от его разведки до ликвидации. Местным населением фиксируются такие локальные геоэкологические проблемы и катастрофы, как нарушение водотока в результате работы тяжелой техники в русле реки, гибель рыбы в результате химического загрязнения водного объекта. Предпринимаемые попытки местной администрации решить вопросы по ликвидации негативных последствий с компаниями-разработчиками недр не всегда заканчиваются успехом.

Также интересны выводы Г.Ю. Складенко и соавторов (2016) об экологическом ущербе, наносимом недропользованием природной среде Ростовской области. Авторы публикации приходят к выводу, что в регионе уделяется чрезвычайно мало внимания вопросам экологии, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на все сферы жизнедеятельности населения, включая экономический рост и благосостояние области.

Предложенный анализ дает возможность получить представление о связи между наличием нефтегазодобывающего производства в муниципальных образованиях Оренбургской области со всеми привносимыми геоэкологическими проблемами и состоянием социально-экономической сферы территориальных образований. В общем виде можно выделить несколько сюжетов значимости нефтегазодобывающего производства для социально-экономической составляющей района, связанных с превалирующим влиянием нефтегазовой отрасли на остальные сферы природопользования:

а - формирование сети нефтегазопромыслов на периферии района со значительной деградацией сельскохозяйственного производства, массовой депопуляцией в зонах влияния нефтегазопромыслов, преобладанием занятости трудовых ресурсов в нефтегазовой отрасли при поляризации населения в районном центре и примыкающих селениях;

б - сочетание устойчивого и сбалансированного сельскохозяйственного производства, в том числе в пределах личных подворий (нетоварного или мелкотоварного) в сочетании с мелкими нефтегазопромыслами, не влияющими существенно на депопуляцию и структуру расселения района;

в - размещение крупного месторождения вне пределов системы расселения, привлечение к производству только городского и дальнего сельского населения, формирование крупных кустов добычи.

Направление вектора происходящих социально-экономических изменений не обнаруживает положительной зависимости от нефтегазодобычи в районе: несмотря на стабильное развитие нефтегазодобывающей отрасли, основные показатели уровня жизни населения, являющегося составной частью

национального капитала страны, не демонстрируют тенденции к улучшению. Наличие нефтегазодобывающего производства в муниципальных образованиях не способствует формированию природных и социально-экономических факторов, способных удержать население от поиска более комфортных и перспективных условий жизни. Основное отличие нефтегазоносных территориальных образований от районов без нефтегазодобычи заключается в ухудшении геоэкологической ситуации, зачастую не компенсируемом значимыми социально-экономическими преимуществами.

## **2.5. Влияние природно-географических условий на формирование трансформированных ландшафтов**

Специфика последствий техногенного воздействия на ландшафты обусловлена, в первую очередь, природно-ландшафтной дифференциацией территории, связанной с широтной зональностью. Природно-ландшафтная дифференциация проявляется в геоэкологически значимых свойствах ландшафтов, то есть тех, которые могут способствовать или не способствовать проявлению геоэкологических проблем (Ивашкина, Кочуров, 2017). Любая хозяйственная деятельность относительно природной среды является информационным фактором, а информация в природе не может передаваться иначе, чем в потоках вещества и энергии (Солнцева, 1998). Включение продуктов техногенеза в природные миграционные циклы служит пусковым механизмом трансформации исходных ландшафтов, определяя специфику их изменений. Особенности исходного ландшафта на различных масштабных уровнях являются факторами, определяющими специфику развития геоэкологических проблем и трансформационных процессов.

Ход и глубина трансформации ландшафтов под воздействием нефтегазодобычи тесно связаны с его внутренней структурой, определяющейся факторами полимасштабной ландшафтной дифференциации – зонально-

климатическим на надрегиональном и региональном уровнях, геоморфологическим на локальном (ярусность, экспозиция склонов, литогенная и почвенная неоднородность). Например, очевидно, что мощность гумусового горизонта, депонирующего различные виды загрязнений, или механический состав почвообразующих пород, способствуя или неспособствуя проникновению и сохранению в почвенном профиле нефтепродуктов, играют значительную роль в формировании последствий определенного вида техногенного воздействия. Среди региональных факторов важную роль играет распределение ландшафтно-геохимических фаций по ландшафтным ярусам (склоновая микрозональность) – элювиальные и транзитные фации быстрее освобождаются от поллютантов, аккумулятивные - играют депонирующую роль. Экспозиционная асимметрия является важной структурным агентом формирования того или иного уровня трансформации в ходе экзогенных процессов, поскольку перераспределяет почвы и растительность вдоль склонов.

Анализ трансформированных ландшафтов, в том числе их стадиальных смен, означает, прежде всего, их сравнение с исходным инвариантом, как в ходе воздействия, так и после его прекращения, то есть в процессе ренатурализации (Исаченко, 1991). Отличаясь некоторыми ландшафтообразующими факторами (геологическому строению, типу почв), ландшафты степной зоны обладают рядом физиономически схожих признаков; неустойчивый сезонный климат - важнейшее условие для формирования степных ландшафтов, промежуточной зоны между лесом и пустыней (Чибилёв, 1998). Основными природно-климатическими особенностями степной зоны являются семиаридный климат с частыми и сильными ветрами, слабая расчлененность рельефа, безлесье равнинно-холмистых водоразделов с преобладанием низкоярусной (травяной) растительности, недостаточная и неравномерная обводненность территории - преобладание испаряемости над осадками формирует незначительный поверхностный сток. Последний аспект имеет решающее значение для поддержания жизнедеятельности популяций степной фауны, наибольшая

плотность которой наблюдается около немногочисленных степных водоемов и водотоков.

Волго-Уральский степной регион, расположенный в степной зоне Северной Евразии, в орографическом отношении включает возвышенность Общей Сырт, Низкое Сыртовое Заволжье и Илекское плато. Почвенный покров представлен, в основном, обыкновенными и южными черноземами (Оренбургская, Самарская области), сменяющимися к югу темно-каштановыми и каштановыми почвами (Саратовская, Волгоградская области). Растительный покров территории, включающий малочисленные облесенные участки (3 - 5%), принимает на себя важнейшую функцию абсорбции углерода из атмосферы и выделения кислорода. С учетом функционирования огромного количества факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа (только в Оренбургской области их более 200), сохранение травяного покрова степей и, соответственно, углеродно-кислородного баланса, является первоочередной задачей оптимизации ландшафтов. В степных регионах травяная растительность является также одним из немногих природных барьеров, препятствующих развитию эрозии (Щепащенко, 1991; Cantón и др., 2011), в то время как наибольшее влияние на возникновение эрозии оказывает уклон поверхности. Как правило, к эрозионноопасным относят земли с уклоном более 3° (Щепащенко, 1991; Trabucchi и др., 2012), поскольку процессы массового смещения материалов не характерны для выровненных или слабонаклонных поверхностей, где эрозионные явления не выражены или выражены слабо. Равнинные участки, характеризующиеся относительно плоским рельефом, являются наиболее ценными в хозяйственном отношении, что делает целесообразным наложение ряда ограничений на их использование при разработке месторождений полезных ископаемых. Требуется решения возникающее противоречие между целесообразностью использования равнинных участков для сельскохозяйственной деятельности и их приоритетностью к размещению объектов нефтегазопромыслов с целью снижения возможностей развития почвенной эрозии.

При формировании трансформированных ландшафтов роль отдельных компонентов, процессов или свойств может оказаться неоднозначной. Например, скорость ветра – фактор, благоприятствующий развитию эрозии и дефляции, считается благоприятным с точки зрения противодействия техногенному химическому загрязнению. Если условия разложения нефтепродуктов и других загрязнителей зависят от количества поступающей солнечной энергии, гидротермического режима почв, окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий почв и вод, то условия рассеяния примесей и выноса напрямую зависят от интенсивности стока и скорости ветра. Соответственно, критерии устойчивости к химическому и механическому воздействию в значительной степени исключают друг друга (Глазовская, 1976, 1988).

Таким образом, достаточно сложно выполнить интегральную оценку ландшафтного местоположения для внедрения того или иного вида техногенного объекта – результат будет зависеть от планируемого вида природопользования. Наиболее распространенными способами решения проблемы является выделение приоритетных сохраняемых свойств ландшафта и/или применение балльных шкал: по единой шкале на основе экспертных мнений производится балльная оценка каждого показателя, после чего выводится суммарный балл (Мячина, 2011). Высший балл означает наиболее благоприятные условия для размещения объекта, низший – наименее благоприятные.

Ключевую роль в удалении и рассеивании загрязняющих веществ на локальных территориях играет рассеивающая способность атмосферы. Особенно важно правильно оценивать этот параметр в случаях значительных объемов техногенных выбросов при сжигании попутного нефтяного газа на разрабатываемых месторождениях. Показателем способности атмосферы к самоочищению служит метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы (МПА). Базовый подход для определения МПА предложен в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова (Селегей и др., 2005). Величина МПА определяется соотношением повторяемости климатических и метеорологических условий, способствующих накоплению примесей в атмосфере (штилей, туманов,

дней с высокой влажностью и пр.), к повторяемости условий, благоприятствующих их удалению (дней с осадками, высокой скоростью ветра и пр.). Расчеты МПА для регионов осуществляются, как правило, с орректировками параметров, учитывающими специфику условий региона (Трофимец, Тарасов, 2009).

Например, в Оренбургской области преобладают процессы, способствующие рассеиванию примесей. Однако не все сезоны и даже месяцы характеризуются равнозначными условиями самоочищения атмосферы. Наименее способствуют рассеиванию примесей метеоусловия осеннего и зимнего периода, особенно на западе области, за счет большого количества дней с влажностью выше 80%, с туманами и дымкой. В летний и весенний период наибольшую роль в процессе самоочищения атмосферы играет скорость ветра, превышающая 6 м/с. Для степной территории частота повторяемости ветра со скоростью выше 6 м/с является главным фактором, способствующим рассеиванию примесей. В то же время, частые сильные ветры способствуют переносу загрязнителей на большие расстояния при сжигании попутного газа на вертикальных факельных установках (подробнее см. подгл. 3.7).

В ряде исследований демонстрируются различия в реакции ландшафтов различных природных зон на техногенное воздействие, типы их геоэкологической дестабилизации (Петров, 1994). Так, в ландшафтах тундровой зоны отмечается низкая способность к самоочищению в связи с дефицитом тепла, низкой активностью биогеохимических процессов, низкой степенью инфильтрации загрязнителей из-за мерзлотного водоупора. Растительный покров ландшафтов тундры легко разрушается при механическом воздействии и очень чувствителен к атмосферным загрязнителям; неустойчивость растительного покрова служит причиной нарушения термического равновесия в приповерхностном слое многолетнемерзлой толщи, что ведет к просадкам и термокарсту.

В ландшафтах таежной зоны обильный сток благоприятствует удалению водорастворимых техногенных веществ, но сильная заболоченность служит существенным отрицательным фактором, ослабляющим устойчивость к любым

техногенным нагрузкам. Например, нарушенные территории Ковыктинского газоконденстаного месторождения (южно-таежная подзона Иркутской области) имеют компактный, локализованный характер вследствие природных особенностей: густая таежная растительность и расчлененный рельеф, которые не дают возможности свободного проезда и даже прохода вне инфраструктуры; преимущественно устойчивые каменистые грунты; локальное распространение многолетнемерзлых пород (Антипов и др., 2004).

В пустынных ландшафтах из-за недостатка влаги вынос продуктов техногенного воздействия резко замедлен, способствуя накоплению этих веществ в понижениях и впадинах, в то время как солнечная радиация способствует быстрому самоочищению от органических загрязнителей. Растительность пустынь способна накапливать тяжелые металлы, тем самым содействуя их аккумуляции (Исаченко, 1991).

Механические повреждения почвенно-растительного покрова в средней полосе России визуально исчезают и зарастают за один-два сезона, в то время как на горных склонах любая колея может послужить очагом активной водной эрозии, превратиться в овраг или глубокую промоину, а на юге, в степных и полупустынных районах, дать начало выдуванию из почвы мелкозема, постепенному разрушению почвы, вплоть до образования подвижных песков — барханов (Мазур, Молдаванов, 1999).

Лесостепные и сухостепные ландшафты слабо реагируют на кислотное загрязнение, в отличие, например, от тундровых и северо-таежных, которые к этому типу воздействия неустойчивы. В таежных ландшафтах с подзолистыми почвами под влиянием кислотных выбросов активно идут процессы отмирания зональных хвойных лесов и мохово-лишайниковых сообществ. В степной же зоне кислотные выбросы легко нейтрализуются каштановыми и черноземными почвами с насыщенным основанием и поглощающим комплексом. При этом возможно даже олуговение с полынными растительными сообществами на солонцеватых почвах. То есть под влиянием одного и того же загрязнителя в таежных и тундровых ландшафтах усиливается действие лимитирующих

факторов, ограничивающих биоразнообразие (недостаток питания), в то время как в степных ландшафтах действие солонцеватости почв как лимитирующего фактора биопродуктивности и биоразнообразия может ослабевать (Казаков, 2012). Подобные свойства степных ландшафтов имеют положительное практическое значение при выпадении подкисленных осадков, образующихся в результате больших объемов выбросов оксидов азота и оксидов серы при сжигании попутного нефтяного газа на многочисленных факельных установках.

Еще более сложны локальные закономерности дифференциации ландшафтов: наблюдается высокая контрастность в соотношениях характеристик элементарных ландшафтных единиц, имеющих наибольшее практическое значение с точки зрения проведения любых работ на нефтегазопромыслах. Ряд типологических ландшафтных единиц целесообразно рассматривать в качестве основы для прогнозирования потенциальных последствий техногенного очагового воздействия. Как правило, степень модификации ландшафта в процессе техногенного воздействия пропорциональна его таксономическому рангу в иерархии ландшафтных таксонов. Являясь целостным структурно-функциональным образованием, территории различных уровней ландшафтной дифференциации выступают носителями разнообразной информации (о рельефе, климатических условиях, свойствах почво-грунтов, степени проявления экзогенных геологических процессов, гидрогеологической обстановке и пр.), в сумме определяющей степень естественной устойчивости ландшафтной таксономической единицы (Чибилёв, 2000). Наименее устойчивы к внешним воздействиям и наименее долговечны низшие морфологические единицы географического ландшафта - фации. Наиболее крупной морфологической частью ландшафта является местность, устойчивость которой зависит от совокупности параметров составляющих ее урочищ. Соответственно, еще большей устойчивостью обладает природно-территориальный комплекс ранга ландшафта и тем более устойчивы таксономические единицы, образованные системой сопряженных ландшафтов.

Подобная дифференциация в восприимчивости техногенного влияния крайне важна при анализе очаговых воздействий, классическим примером которых являются воздействие нефтегазодобывающей скважины. Трансформация элементарных таксонов в иерархии сопряженных внутриландшафтных рангов приводит к нарушениям горизонтальных связей морфологических единиц ландшафта. Масштабность и глубина процессов трансформации, появление различных модификаций морфологических ландшафтных единиц значительно ослабляют возможности проявления процессов саморегулирования на уровне как затрагиваемых, так и более крупных ландшафтных таксонов, сказываясь на главных потоках вещества и энергии и подтверждая принцип полимасштабности воздействия нефтегазодобывающего природопользования.

Согласно А.Г. Исаченко (1991), наиболее устойчивые необратимые изменения в структуре ландшафтов наблюдаются в том случае, когда человеческое вмешательство дает толчок процессам, к которым ландшафт уже подготовлен в силу присущих ему естественных тенденций развития. Именно такие ситуации складываются в ландшафтах с исходным неустойчивым равновесием, расположенных, например, в переходных условиях на границах зон. В подобных случаях бывает достаточно небольшого толчка, чтобы нарушить хрупкое равновесие и вызвать вторичные процессы, ускоряющие потенциально предопределенный ход развития. Это могут быть остепнение или опустынивание, оврагообразование, заболачивание. В естественных условиях такие процессы сдерживаются стабилизирующим началом (главным образом растительностью), которое уничтожается в ходе техногенного воздействия. Поскольку степная зона является очевидной промежуточной переходной территорией между лесной и пустынной зонами континентов (Чибилёв, 2016), учитывая масштабы, темпы и закономерности оказываемого техногенного воздействия, есть все основания полагать, что в ближайшем будущем опустынивание и обезвоживание будут являться наиболее вероятными последствиями техногенной трансформации степных ландшафтов.

## **2.6. Общее и особенное техногенной трансформации ландшафтов, источники и виды воздействия**

В процессе нефтегазодобычи на обширных территориях повсеместно внедряются точечные и площадные объекты, формирующие очаги и зоны воздействия на самом низшем иерархическом уровне исходной геосистемы. Очаговые воздействия, охватывая меньшие площади, часто имеют более интенсивный и многосторонний характер, нередко захватывая и твердый фундамент ландшафта (Исаченко 1991). При этом известно, что ландшафтные таксоны локального уровня, как раз и вмещающие обособленные объекты нефтегазодобывающей инфраструктуры, менее устойчивы к внешнему воздействию, чем более крупные в иерархическом ряду (Чибилёв, 1998). Учитывая, что локальные и региональные структурные части географической оболочки связаны между собой потоками вещества и энергии, локальное воздействие распространяется далеко за пределы самого источника воздействия по различным каналам. Соответственно, существенная особенность очаговых воздействий состоит в том, что их проявление может выходить далеко за пределы площади самого очага, когда ареал воздействия часто трудно определить, так как он складывается из различных зон влияния. Их кумулятивный эффект в конечном счете приобретает региональное, а порой и глобальное значение, достигая высшего иерархического уровня географической масштабной лестницы и сказываясь на состоянии географической оболочки в целом (Мильков, 1973; Исаченко, 1980).

Агломерации нефтегазовых месторождений, насыщенные многочисленными техническими объектами, распределенными на обширном пространстве, являются факторами геоэкологической нестабильности в Волго-Уральском степном регионе. Широкое распространение структурных звеньев комплекса нефтегазопромыслов формирует специфические пространства техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением,

совмещением зон воздействия объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, приводящим к возникновению очагов геоэкологических проблем (рис. 16).

Все технологические объекты нефтегазодобывающего комплекса по причине диффузного размещения являются мощными источниками прямого и косвенного негативного воздействия на естественные ландшафты, сельскохозяйственные угодья, зоны населенных пунктов, водные объекты и пр. С точки зрения специфических особенностей хозяйственного использования на территории нефтегазопромислов можно условно выделить три основных зоны нефтегазопромисловой структуры с характерными объектами воздействия, вызывающими определенные изменения в ландшафтах (табл. 8).

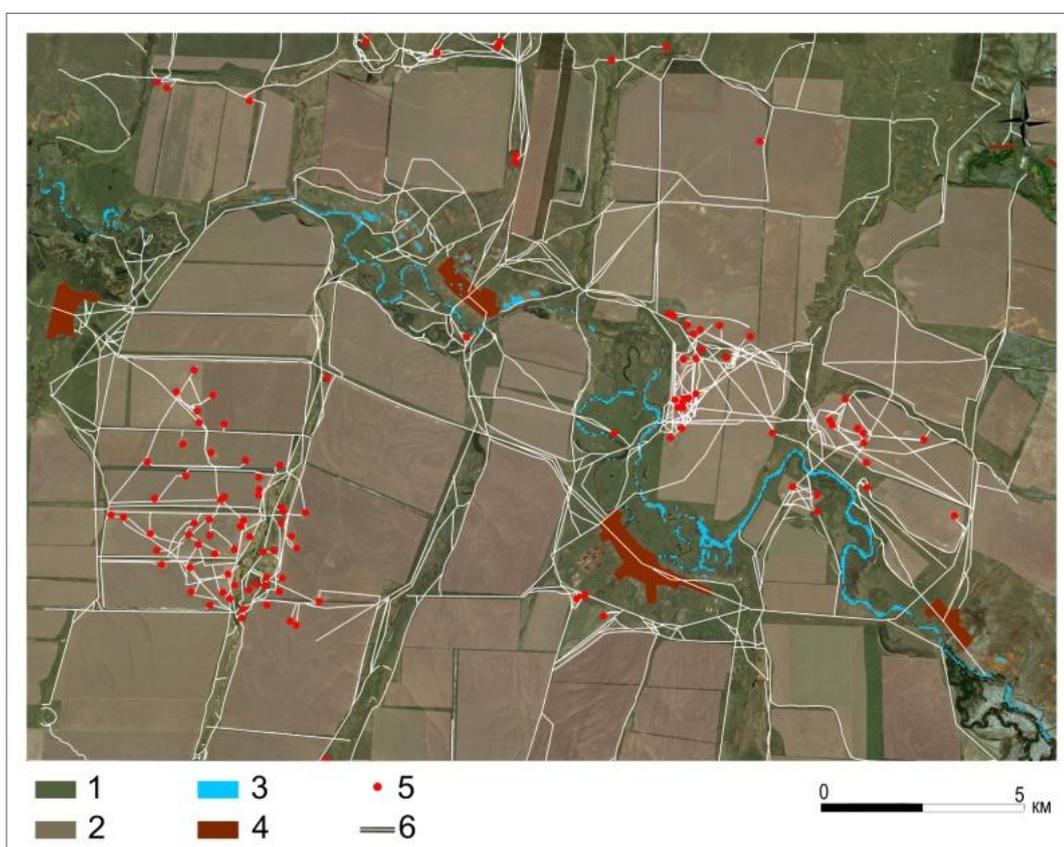


Рисунок 16. Картографическая визуализация диффузно-очагово-линейного распространения объектов нефтегазодобычи на ключевом участке №11 (Боголюбовское, Кодяковское, Балеikinское нефтегазовые месторождения): 1 – естественные ландшафты, 2 - сельскохозяйственные угодья, 3 - водоток, 4 - населенные пункты, 5 – точечные и площадные объекты нефтегазодобычи, 6 - дорожная сеть нефтегазопромисла.

Таблица 8. Зоны нефтегазопромысловой структуры, объекты воздействия, основные последствия

<b>Зона</b>	<b>Объекты воздействия на ландшафт</b>	<b>Основные последствия</b>
Зона разведки, непосредственного извлечения и обработки нефти и газа	Скважины (разведочные, добывающие, нагнетательные), пункты первичной подготовки углеводородного сырья, факельные установки, хранилища сырья и отходов производства.	Уничтожение, уплотнение, иссушение, переувлажнение, засоление, заболачивание почв; запыление, тепловое, шумовое и химическое загрязнение компонентов ландшафта;
Бытовая зона	Жилые вагончики для проживания персонала, мини-котельные, кухонные блоки и пр. хозяйственные постройки.	изменение микроформ рельефа, оползни, овражная эрозия; изменение гидрологического режима малых рек,
Зона внедрения транспортных коммуникаций и инженерных сетей	Дорожно-транспортная сеть специализированного назначения, сеть трубопроводов и ЛЭП.	складирование и захоронение промышленных и бытовых отходов.

Воздействие, оказываемое на ландшафты в ходе нефтегазодобычи, включает в себя весь диапазон существующих видов влияния: механическое, химическое, радиационное, биологическое, тепловое, шумовое (приложения 2, 3). Традиционно считается, что наиболее значительный ущерб природной среде наносят химическое и механическое воздействия (Вовк, 1998; Юдахин и др., 2002).

Источниками химического воздействия на ландшафты являются практически все технологические объекты месторождений: скважины различного назначения, групповые измерительные и сепарационные установки, сборные пункты и установки комплексной подготовки нефтегазового сырья, резервуарные парки, внутрипромысловые и магистральные трубопроводы, факельные установки. На стадии бурения скважин наиболее распространенными загрязнителями являются буровые растворы, буферные жидкости, ингибиторы коррозии и солеотложений, реагенты, закачиваемые в продуктивные толщи для повышения нефтеотдачи пластов, сероводород (Вредные вещества..., 1976; Бузмаков, Костарев, 2003).

На буровых площадках формируются амбары, предназначенные для хранения бурового шлама, пластовых вод и других жидких отходов. Повреждение стенок амбаров и их переполнение приводит к утечке содержимого и загрязнению прилегающих территорий, в том числе проникновению поллютантов в глубину почвенного слоя, зону аэрации и подземные воды. Основными причинами утечки загрязнителей являются невысокое качество гидроизоляции шламовых амбаров и несоответствие их объемов объемам образующихся отходов, главным образом жидких, из-за их аккумулялирующей способности и подвижности. Также нарушения герметичности эксплуатационных колонн и недоподъем цемента до устья скважины в заколонном пространстве можно назвать основными техническими причинами загрязнения подземной гидросферы химическими реагентами и углеводородами (Кудайкулова, 2000; Труфанова, 2003). Считается, что нефтепродукты вносят наибольший вклад в геохимическое загрязнение и геоэкологическую дестабилизацию подземного пространства (50-80%) (Шамсутдинов, 2004; Герасимова, 2003).

Особую опасность представляют открытое аварийное фонтанирование из скважин и порывы на нефте- и газопроводах, в результате чего в ландшафты попадают значительные объемы нефти и газа. Ситуация усугубляется тем, что при ликвидации последствий аварийных разливов нефти часто используются приемы, которые только обостряют ситуацию. Так, основным способом ликвидации нефтяных разливов на местности является их механический сбор, иногда с использованием сорбентов, с последующим захоронением остатков путем отсыпки песком (торфом) или выжиганием (рис. 17). В результате таких нефтяных пожаров огонь уничтожает корневую систему растений, что увеличивает сроки восстановления выгоревших участков (Нечаева, 2000).

Острые проблемы возникают при транспортировке нефти и нефтепродуктов. Транспортировка нефти по трубопроводам экономически выгодна – себестоимость перекачки нефти в 2-3 раза ниже, чем стоимость перевозки по железной дороге; средняя дальность перекачки нефти в России составляет 1500 км.



Рисунок 17. Пленка нефти на воде и выжженный верхний слой почвы на берегу безымянного ручья после аварии на нефтепроводе в районе с. Жилинка (Оренбургская область, Бузулукский район).

Нефть транспортируется по трубопроводам диаметром 300-1200 мм, подверженным коррозии, отложениям смол и парафинов внутри труб. Поэтому по всей длине трубопроводов необходимы технический контроль, своевременный ремонт и реконструкция. Нефтегазотранспортная сеть Волго-Уральского степного региона начала создаваться в 40-е гг. 20-го в., параллельно с началом разведки и эксплуатации первых нефтяных месторождений. Несмотря на периодически проводящиеся замены участков трубопроводов, большая часть трубопроводной системы, как магистральной, так и промысловой, все еще нуждается в реконструкции в связи с высокой степенью изношенности, несоответствия существующим экологическим требованиям и, как следствие, высоким процентом аварийных порывов.

К механическому воздействию относят нарушение почвенно-растительного покрова или его полное уничтожение, изменение микроформ рельефа при земляных, строительно-монтажных, укладочных работах, движении транспортной и строительной техники. При разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений земли отводятся под точечные и площадные объекты (скважины, факельные установки, установки сбора и подготовки нефти, нефтяные и

шламовые амбары и пр.), транспортные коммуникации (дорожную сеть, сеть трубопроводов, сеть линий электропередач). При обустройстве месторождений нормативно предусматривается снятие плодородного слоя почвы, который должен быть складирован в местах, не подверженных загрязнению и иным негативным воздействиям, с целью последующего возврата на исходную позицию в ходе рекультивации. В результате, как правило, происходят нарушения почвенно-растительного покрова различного масштаба и глубины. В ходе проводимых работ нарушается состояние прилегающих земель, не отведенных в специальное пользование, но попутно затрагиваемых воздействием - например, перемещениями большегрузного транспорта вне официально проложенных дорог.

Наиболее масштабным и активно проявляющимся признаком трансформации степных ландшафтов нефтегазопромыслов являются нарушенные земли (Мячина, Чибилёв, Дубровская, 2017; Мячина, 2018). Понятие «нарушенные земли» употребляется российскими (Банников, 1996; Мазур, Молдаванов, 1999; Орлов, 2002; Апарин и др., 2002) и зарубежными исследователями (Baynard, 2011, 2013; Jones, Pejchar, 2013) для идентификации участков, нарушенных хозяйственной деятельностью человека, в том числе на нефтегазодобывающих объектах лесостепной зоны р. Башкортостан (Габбасова, 2004; Абдрахманов, 2005), Крайнего Севера (Ананенков и др., 2000; Иванов, 2015), степных территорий Северной Америки (Baynard, 2017; Jones, Pejchar, 2013).

Существует официальное определение понятия «нарушенные земли», приведенное в ГОСТ 17.5.1.01-83 «Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения». Согласно указанному документу, под нарушенными землями необходимо понимать земли всех категорий, которые в результате любой производственной деятельности человека утратили свою хозяйственную ценность или стали источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с изменением почвенного и растительного покровов, гидрологического режима и образованием техногенного рельефа. Неблагоприятные эдафические условия нарушенных земель являются основной

причиной возникновения участков с крайне бедной растительностью и животным миром, нарушенным балансом углеродного цикла и измененным термическим режимом, обусловленными не климатическими факторами, а отравлением или иным нарушением природной среды, возникшим в результате хозяйственной деятельности человека (рис. 18).



*a)*



*б)*

Рисунок 18. Нарушенные земли действующего (*a*) и ликвидированного (*б*) нефтегазопромислов (Оренбургская область).

Подобные участки в зонах воздействия нефтегазопромислов целесообразно называть промышленными пустошами, в соответствии с определением,

предложенным в понятийно-терминологическом словаре «Геоэкология и природопользование» (2005). Об образовании схожих пустошей на нефтегазопромыслах таежной зоны упоминается в работе А.Н. Антипова и соавторов (Антипов и др., 2004).

В результате воздействия объектов нефтегазопромыслов коренные степные фитоценозы, как правило, претерпевают сукцессии, направленные в сторону деградации, приводящие к упрощению растительного покрова, основу которого слагают сорные виды и их группировки. Местами растительный покров нарушен до полного его отсутствия (Чибилёв, Мячина, 2007; Калмыкова, Мячина, Вельмовский, 2015). Одним из главных процессов, вызывающих деградацию почвенно-растительного покрова, вызывающих изменения в составе почвенных микроорганизмов является развитие вторичного засоления, наряду с переуплотнением почвенного слоя и потерей влаги (Gao и др., 2015). В ходе полевых исследований ландшафтов нефтегазовых месторождений Волго-Уральского степного региона автором выполнялись инструментальные замеры влажности и температуры почвы нарушенных земель с использованием почвенного влагомера и термометра. На основе 13-ти замеров влажности и температуры почвы на глубине 5 и 30 см выявлено, что подверженные техногенному воздействию участки грунта (площадки под объектами нефтегазопромыслов) отличаются пониженной влажностью (на 7-9%) и повышенной (на 1-1,5°) температурой по отношению к фоновым замерам.

Преобразование ареалов нарушенных земель в промышленные пустоши происходит, чаще всего, по нескольким причинам:

- системность, масштабность и длительность техногенного воздействия влекут накопление площадей нарушенных земель и их длительное функционирование в этом статусе;

- экологические стандарты природопользования при разработке недр не учитывают геоэкологической специфики и резистентных возможностей зональных ландшафтов;

- ключевую роль играют особенности культуры природопользования и низкие экологические стандарты, установленные законодателем.

Комплекс рекультивационных мероприятий, как правило, позволяет лишь несколько уменьшить последствия деградации почвенно-растительного покрова – возможности современной рекультивации ограничиваются лишь той или иной стадией улучшения состояния нарушенных земель. Кроме того, методы ликвидации последствий разливов нефти часто влекут за собой необратимое уничтожение плодородного слоя почвы: при сжигании разливов, засыпке загрязненных участков грунтом, сборе и вывозе загрязненной почвы в отвалы (Трофимов, 2002; Герасимова, 2003; Габбасова, 2004).

Тем не менее, добыча нефтегазовых ресурсов является необходимым условием существования человеческого общества и подразумевает непрерывность, многообразие и, как правило, поэтапное увеличение объемов техногенной нагрузки вплоть до момента полной выработки месторождения. Поэтому определение действительных объемов нарушенных земель является инструментом, призванным способствовать выявлению разницы между заявленным недропользователем и фактическим ущербом ландшафтам, а также разработке путей их оптимизации в условиях степного нефтегазового природопользования.

Поскольку источники и структура воздействия на ландшафты при нефтегазодобыче схожи в любых условиях и в любой географической точке суши, специфика геоэкологических последствий обусловлена, как правило, зональными и локальными характеристиками ландшафтов и местоположений (см. подгл. 2.5), научно-техническим уровнем рабочих проектов, техники и технологий, особенностями природоохранного законодательства страны, в том числе - степенью неотвратимости и строгости наказания за экологические правонарушения, а также экологической сознательностью нефтегазодобывающих компаний и населения. Тем не менее, в связи со спецификой процессов нефтегазодобычи принцип эквивиальности действует всегда и везде в условиях разработки месторождений.

## **Выводы по главе 2**

Полимасштабность как вариативный способ геоэкологического анализа, определяется вариациями в пространстве и во времени содержания происходящих в ходе нефтегазодобычи трансформационных процессов с учетом их атрибутивности, функциональности и иерархичности. Упрощенная модель полимасштабной структуры мирового нефтегазодобывающего комплекса, трансформирующего степные ландшафты, выдвигает ряд геоэкологических задач по их оптимизации на всех уровнях - от локального до глобального.

Специфичность техногенной трансформации степных ландшафтов проявляется в многоаспектном эффекте воздействия на окружающую действительность, в том числе связана с социально-экономическими характеристиками территориального образования и качеством жизни населения. Основное отличие нефтегазодобывающих районов от остальных заключается в ухудшении геоэкологической ситуации без приобретения значимых социально-экономических преимуществ для населения.

Ход и глубина трансформации ландшафтов под воздействием нефтегазодобычи тесно связаны с их конкретными условиям и характеристиками, определяющими факторами ландшафтной дифференциации – зонально-климатическими на надрегиональном и региональном уровнях, геолого-геоморфологическими на уровне нефтегазопромыслов и биотическими на локальном.

Модель трансформированных ландшафтов мирового нефтегазодобывающего комплекса и связанная с ним геоэкологическая обстановка формируют определенные задачи по оптимизации ландшафтов и прогнозированию их состояния, требующие решения на всех уровнях географической полимасштабной лестницы: локальном, региональном, национальном, глобальном.

## ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ

### 3.1. Тенденции развития нарушенных земель на ключевых участках исследования

Из анализа рассчитанных значений общей длины и средней ширины специализированных дорог нефтегазопромыслов и дорог общего пользования, а также усредненных размеров площадок с объектами месторождений следует, что площадь земель, нарушенных инфраструктурой нефтегазопромыслов, на российских ключевых участках составляет в среднем 2,6 км<sup>2</sup> на 100 км<sup>2</sup>, однако может возрастать до 5 км<sup>2</sup> на 100 км<sup>2</sup> (табл. 9). Общая тенденция заключается в сокращении доли нарушенных земель в зависимости от даты введения месторождения в эксплуатацию.

Таблица 9. Факторы воздействия на ландшафты и показатели их трансформации на ключевых участках исследования

№ участка	Год начала разработки недр	Кол-во площадок с объектами нефтегазовых месторождений	Плотность дорожной сети; км/км <sup>2</sup>	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	-

\* подробнее см. главу 4.

Площади нарушенных земель Волго-Уральского степного региона в некоторых областях расширяются за счет прилегающих к площадкам объектов месторождений земель в результате бесконтрольного увеличения ареала техногенного воздействия. Например, доля специализированных дорог нефтегазопромыслов составляет от 12 до 59% от общей дорожной сети ключевых участков, однако около четверти этих нефтегазопромысловых дорог составляют неофициальные подъездные пути, создаваемые водителями ведомственного большегрузного транспорта для удобства передвижения (рис. 19).

Выявлена зависимость между количеством площадок с объектами нефтегазопромысла и плотностью его дорожной сети. При подсчете площади нарушенных земель на любом интересующем нас участке, необходимо учитывать не только земли, отведенные непосредственно под площадки с объектами месторождения, но и площадь земель, нарушенных дорожной сетью. Выполненные расчеты показали, что при средней ширине нефтегазопромысловых дорог равной 4 м дорожная сеть российского степного нефтегазопромысла добавляет, в среднем, 35% к площади нарушенных земель, задействованных под сооружения объектов месторождений.



Рисунок 19. На ключевом участке №5 (Мухановское, Дмитриевское месторождения) плотность дорог достигает 3,6 км/км<sup>2</sup> (источник базовой карты: Google Earth). Месторождения разрабатываются с 1947 г.

Иной пример - площадь нарушенных земель на ключевом участке №15 (штат Колорадо) менее 1%. Этот показатель соизмерим с данными по некоторым российским ключевым участкам (№1, №4). Существенные различия показателей плотности дорожной сети, соединяющей объекты месторождений, обусловлены тем, что на месторождениях штата Колорадо не происходит перемещение транспорта между объектами месторождения вне официально утвержденных и оборудованных дорог.

Также интересны результаты, полученные по ключевому участку №14 – части Бавлинского нефтяного месторождения, расположенного в лесостепной зоне Республики Татарстан. Это месторождение введено в промышленную разработку в 1949 г., по количеству запасов относится к классу крупных, характеризуется развитой инфраструктурой, высокой обеспеченностью энергетическими мощностями, развитыми путями сообщения – то есть ландшафты характеризуются высоким уровнем накопленной техногенной нагрузки.

Тем не менее, по результатам исследования выявлено, что доля нарушенных земель на ключевом участке Бавлинского месторождения не превышает среднего значения (2,5%), а плотность дорожной сети лишь немногим более чем на ключевом участке №9 – части Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в подзоне южной степи и открытого в 1966 г., намного позже Бавлинского месторождения (см. табл. 9). При наличии значительно меньшего количества площадок скважин и других объектов нефтегазодобычи на ключевом участке №9 Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения - на 43% меньше по сравнению с Бавлинским месторождением - доля нарушенных земель на участке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения значительно выше - в 1,7 раза.

Полученные данные свидетельствуют о том, что незначительная выраженность в степных ландшафтах естественных географических барьеров, которые могли бы лимитировать рост нарушенных земель - низкая лесистость,

слабая пересеченность рельефа, отсутствие полноводных рек, разреженная гидрографическая сеть - способствует бесконтрольному и беспорядочному расширению площади нарушенных земель, в том числе – созданию стихийной дорожной сети. Подобные действия затруднены на участке №14 (Бавлинское месторождение) вследствие проявления ограничительных функций облесенных холмистых ландшафтов лесостепной зоны.

Известно пороговое значение плотности дорожной сети в ландшафте -  $0,6 \text{ км/км}^2$ , превышение которого, как считается, приводит к нарушениям в функционировании сообществ крупных млекопитающих (Forman и др., 1998, 2003). Выполненные автором подсчеты показали, что на ключевых участках в Волго-Уральском степном регионе плотность дорожной сети колеблется в диапазоне  $1,4 - 4,3 \text{ км/км}^2$  (см. табл. 9). Такие показатели указывают на возможность развития кризисной геоэкологической ситуации, ставящей выживание некоторых видов млекопитающих под угрозу (подробнее см. подгл. 3.4).

Несмотря на сходство трансформационных процессов, происходящих в ландшафтах России и США в ходе нефтегазодобычи, обращает на себя внимание существенная разница в соотношении нарушенных земель, плотности ДТС нефтегазопромыслов, качественных характеристик состояния площадок ликвидированных и законсервированных скважин. Подобные различия можно объяснить разницей в технологии добычи нефтяного сырья - в США часто используется горизонтальное бурение, использованием в ходе недропользования земель различного назначения и видов собственности, требованиями природоохранного законодательства, методами контроля за соблюдением нормативов. Хотя прирост нарушенных земель происходит вплоть до периода полной выработки месторождения, масштабы нарушений на российских ключевых участках могли бы быть значительно ниже при отсутствии возможностей осуществления бесконтрольных действий со стороны персонала, обслуживающего месторождения. Однако существующая ситуация, вероятно,

будет сохраняться при неизменности подходов к ведомственному и административному контролю происходящих на нефтегазопромыслах нарушений.

Разрушение растительного и почвенного покрова затрагиваемых земель приводит к нарушению баланса углеродного цикла. Есть мнение, что если бы не существовало повреждений, вызванных человеческой деятельностью, то бюджет углерода был бы, в основном, сбалансированным даже в районах крайне засушливых травяных экосистем (Zhang и др., 2009). Растительный покров степей, уничтожаемый в ходе добычи нефти и газа, является важнейшим резервуаром для абсорбции оксидов углерода и источником продуцирования кислорода. Эти биогеохимические функции имеют важнейшее значение на фоне низкой лесистости и недостаточной обводненности степных территорий.

Можно выразить значимость нарушения целостности ландшафтного покрова в районах нефтегазодобычи через оценку снижения одной из базовых геоэкологических функций (экосистемной услуги) - поддержания регуляции углеродного цикла геосистемы. По данным ведущего российского исследователя в области биохимии и фотосинтеза А. Т. Мокроносова (1994), удельный годовой объем поглощения диоксида углерода биомассой российских степных геосистем составляет около 4 т CO<sub>2</sub>/га/год. Возможно рассчитать приблизительное количество диоксида углерода, который был бы поглощен из атмосферы уничтоженным растительным покровом. Например, при площади нарушенного покрова более 5 км<sup>2</sup> (ключевой участок №8) в атмосфере будет оставаться более 1000 т оксидов углерода ежегодно.

Наряду с растительным покровом в сохранении баланса углерода решающую роль играет почвенный покров, являясь первостепенным резервуаром органического углерода. Подсчитано, что степные ландшафты депонируют около четверти запасов углерода земной атмосферы - 21,4% (Lal, 2010), причем свыше 70% этого количества сохраняется в почве (White и др., 2000). В свою очередь, более 80% общего запаса углерода в почвах степей содержится на глубине до 1 м (Заварзин, Кудеяров, 2006). Соответственно, при разрушении этого слоя в процессе формирования и функционирования инфраструктуры месторождений

значительный объем углерода выбрасывается в атмосферу. В данном случае речь идет именно о нарушениях, связанных с эксплуатацией месторождений, поскольку в некоторых случаях сельскохозяйственные земли (пахотные угодья) связывают больше углерода, чем естественные растительные сообщества (Jones, Rejchar, 2013). Фактор нарушения секвестрации углерода особенно важен в условиях регулярного загрязнения воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках, приводящего к снижению содержания кислорода и насыщению атмосферы продуктами горения, преимущественно оксидами азота и углерода.

Критическим аспектом функционирования нефтегазовых промыслов в степной зоне является формирование промышленных пустошей в районах действующих, законсервированных и ликвидированных объектов месторождений, что непосредственно свидетельствует о нарушении правовых норм землепользования при разработке недр. Образуются так называемые «зоны нефтяного геоэкологического наследия», под которыми предлагается понимать зоны с остатками полуразрушенной инфраструктуры нефтегазовых промыслов, измененными и неоднородными почвами и растительными сообществами (рис. 20).



Рисунок 20. «Зона нефтяного геоэкологического наследия» - фрагменты природно-техногенной геосистемы на участках ликвидированных скважин нефтяного месторождения (Оренбургская область).

Восстановление таких зон практически невозможно регламентировать и контролировать существующими административными методами. Геоэкологическая ситуация, показанная на рисунке 20, существует с 10.12.2007 г. – момента вывода из эксплуатации скважин. На нарушенных землях, не подвергавшихся в должной мере процедурам восстановления и возвращения исходного экосервисного статуса, происходит складирование бытовых отходов населением близлежащих населенных пунктов.

Выявление фактической площади нарушенных нефтегазодобычей земель, изменяющих исторически сложившуюся структуру ландшафтов степной зоны, является одной из наиболее важных и сложных задач при разработке путей оптимизации степных ландшафтов в ходе нефтегазового природопользования.

### **3.2. Выявление нарушенных земель по данным дистанционного зондирования**

Наземные методы исследования и контроля за состоянием ландшафтов в районах эксплуатации нефтегазовых месторождений все шире дополняются анализом данных дистанционного зондирования Земли. Различные алгоритмы спектральных преобразований нередко используются в практике дешифрирования спутниковых снимков для анализа динамики природных и природно-техногенных изменений ландшафтов, в том числе в степных и полупустынных зонах (Fadhil, 2009; Золотокрылин, Титкова, 2012; Gaitána и др., 2013; Reeves, Baggett, 2014). В вегетационный период разреженный или отсутствующий растительный покров является отличительной особенностью участков, находящихся в процессе интенсивного землепользования.

Почвенно-растительный покров представляет собой сложную смесь минеральных и органических компонентов, обладающих различными физическими, химическими и биологическими характеристиками, влияющими на его поглощательную и отражательную способность. Содержание влаги,

органического вещества и минеральных компонентов, размер преобладающих в почвенном покрове частиц (глина, песок, пыль и пр.), характеристики шероховатости поверхности - факторы, оказывающие значительное влияние на спектральную отражательную способность почвы и способствующие разработке спектральных индексов, нацеленных на выявление территорий с различными характеристиками почвенно-растительного покрова. Открытые участки могут включать как площади с эродированным почвенно-растительным покровом (например, в результате выпаса скота), так и измененным в ходе антропогенного воздействия (дороги, площадки с объектами месторождений, пашни и т.п.).

Как правило, индикаторами открытой почвы служат вегетационные индексы (NDVI, SAVI, EVI и т.д.), определенные значения которых соответствуют открытым участкам поверхности и водоемам. Однако основная трудность заключается в том, что степные регионы, как правило, распаханы на 50-90%: например, в Оренбургской области более 50% площади составляют пашни, осложняющие дешифрирование спутниковых снимков при попытках выявить открытые участки в пределах нефтегазовых месторождений (рис. 21).

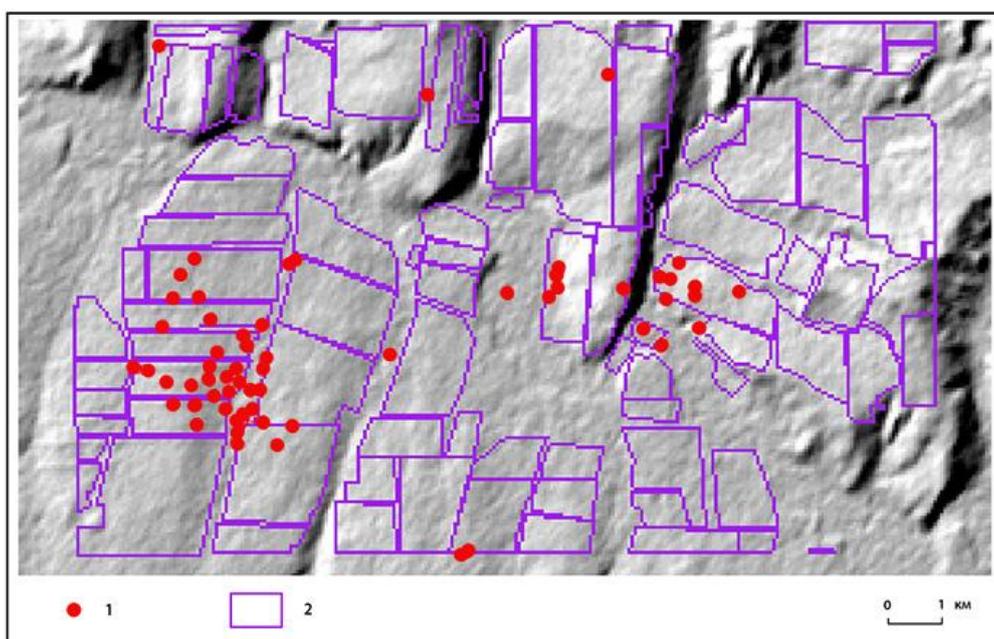


Рисунок 21. Взаимоперекрывание сельскохозяйственных угодий и площадок с объектами нефтегазопромысла на ключевом участке №11: 1 -

площадки с объектами нефтегазопромысла, 2 - границы сельскохозяйственных угодий.

В условиях активного сельскохозяйственного использования земель эффективность вегетационных индексов для распознавания непокрытых почв значительно снижается ввиду особенностей севооборота, подразумевающих наличие открытых пашен в весенний и осенний периоды, когда естественная растительность находится в стадии вегетации. Значительное количество сельскохозяйственных угодий, в частности, полей в степной зоне, подвергающихся разнообразной сезонной обработке - распашке, боронению, парованию, химической обработке сорняков - приводит к тому, что доля открытых поверхностей значительно возрастает и вносит ощутимые затруднения в распознавание объектов техногенной инфраструктуры (Мячина, Малахов, 2013; Мячина, 2015). Применение маски сельскохозяйственных угодий для отделения площадок с объектами нефтегазопромыслов и облегчения дальнейшей обработки изображений не приводит к желаемому результату в связи с большим количеством объектов месторождений на землях сельскохозяйственного назначения, а также в связи со стадийностью обработки полей в зависимости от года и сезона. При использовании сходных методов анализа спутниковой информации в условиях, например, тундры, растительный покров которой отличается равномерностью, стабильностью и длительным периодом возобновления после повреждения, достигается весьма высокая степень точности дешифрирования промышленных объектов (Елсаков, 2012).

На спутниковых снимках, выполненных в зимний период и отображающих снежный покров, участки, подвергающиеся активной эксплуатации при нефтегазодобыче, визуально отличаются от заснеженного пространства. Используемые земли частично очищаются от снега, вытаптываются и загрязняются, что способствует приобретению ими отличных от окружающего заснеженного ландшафта спектральных характеристик. Подобные различия

позволяют использовать зимние снимки для выявления и анализа динамики нарушенных нефтегазодобычей земель степной зоны.

Оценка возможности идентификации нарушенных земель на основе зимних спутниковых изображений осуществлялась на ключевом участке №7 - части Бобровского нефтегазового месторождения Оренбургской области.

Исследовательская репрезентативность ключевого участка №7 обусловлена следующими факторами:

- Бобровское нефтегазовое месторождение находится в разработке более 50 лет (с 1970 г.) и характеризуется значительным объемом накопленной техногенной нагрузки;

- месторождение является одним из крупнейших на территории Волго-Уральского степного региона, занимает площадь более 150 км<sup>2</sup> и обладает насыщенной разветвленной инфраструктурой: более 200 скважин различного назначения, множество узловых сооружений, густая трубопроводная и дорожно-транспортная сеть, объединяющая объекты нефтегазопромысла.

Для оценки точности выявления нарушенных земель использовался контрольный векторный слой объектов месторождения, содержащий 252 площадки, сформированный на основе GPS-фиксации координат в ходе полевых исследований и дополненный ручной оцифровкой инфраструктуры нефтегазопромысла по данным Google Earth (Мячина, 2016). Для апробации и оценки эффективности методов распознавания нарушенных земель применялся снимок Ландсат, дата получения которого соотносится со сроками получения данных для контрольного слоя.

Для подбора эффективного метода обнаружения нарушенных земель выявлялись наиболее информативные каналы изображения, позволяющие максимально точно выделить участки нарушенных земель (Мячина, Чибилёв, 2015). В связи с существенной разницей в значениях альбедо снежного покрова и открытой почвы ожидалось, что разделение объектов по спектральным признакам не представит значительных трудностей. Действительно, во всех каналах были отмечены существенные различия отражательных характеристик заснеженных и

малозаснеженных площадей, вследствие чего они четко фиксируются на изображении (рис. 22).

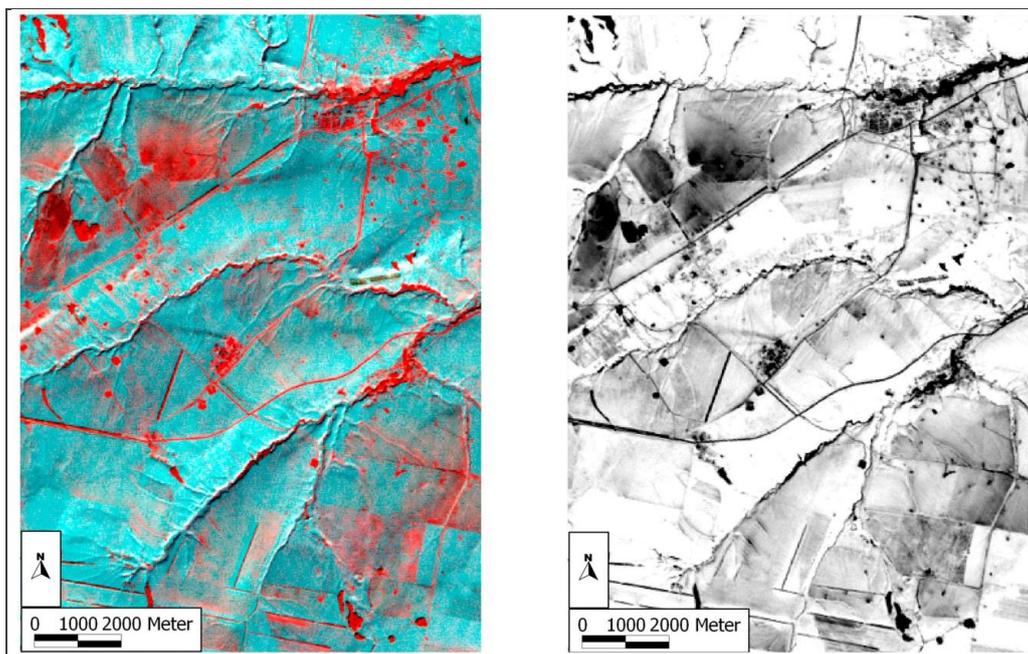


Рисунок 22. Ключевой участок № 7 (Бобровское нефтегазовое месторождение): слева – трехканальная визуализация снимка Ландсат, где красным цветом отображены незаснеженные и малозаснеженные участки, включающие площадки объектов нефтегазопромысла, голубым - заснеженные ландшафты; справа - визуализация снимка Ландсат в синем канале, где малозаснеженные участки отображены более темным тоном.

Одной из основных характеристик отражательной способности почв является ее увеличение с возрастанием длины волны, поэтому в качестве наиболее информативного канала для разделения незаснеженных и заснеженных участков использовали первый канал видимого спектра (Москвич, 2009). В нем, а также в ближнем инфракрасном канале, традиционно используемом для дешифрирования почв, оценивалась информативность выделения интересующих объектов путем логических запросов к значениям пикселей. Выявлено, что при идентификации участков нарушенных земель последние смешиваются с загрязненным снегом, образовавшимся в результате оседания сажи при горении факелов для сжигания попутного нефтяного газа. Смешивание объясняется тем,

что альbedo загрязненного снега может снижаться до 20% (Москвич, 2009), в этом случае трудно отделить по снимку снег от других объектов поверхности.

Далее выполнялся поиск спектральных преобразований, позволяющих наиболее точно выделять эксплуатируемые в процессе нефтегазодобычи участки ландшафта. Анализировались результаты неконтролируемой классификации K-Means с целью выявления оптимальной спектральной делимости объектов, а также результаты классификаций на основе применения индексов, способствующих распознаванию открытых участков земной поверхности, таких, как Topsoil Grain Size Index (GSI), Soil Brightness (SB), Normalized Differential Snow Index (NDSnI), спектральное преобразование Tasseled Cap (TC) с расчетом компонента Brightness (Hall и др., 1995; Salomonson, Appel 2004; Xiao и др., 2006; Mustafa и др., 2011), преобразование Co-Occurrence Measures, основанное на интерпретации текстуры объектов (приложение 4). Текстура объектов формируется закономерностями пространственного распределения элементов поверхности и проявляется в сохранении либо нарушении тоновой однородности изображения. Матовую текстуру имеют однородные участки поверхности: снежный покров на безлесных пространствах (матовая белая текстура), участки сплошного хвойного леса и освободившиеся от снега переувлажненные участки (матовая черная текстура). Метод Co-Occurrence Measures широко используется как для дешифрирования снежного и облачного покровов (Москвич, 2009; Астафуров и др., 2013), так и для выявления ландшафтной структуры (Lane и др., 2014), в том числе для распознавания нарушенных земель на основе снимков Ландсат (Naas и др., 2015).

С помощью вышеуказанных подходов анализируемое изображение Ландсат классифицировалось на два класса: «нарушенные земли» и «окружающий ландшафт». Оценка точности распознавания нарушенных земель, выполненная для каждого из перечисленных методов, осуществлялась по двум критериям: оценка количества распознанных объектов по сравнению с контрольным слоем и оценка ложного распознавания (увеличение площади класса за счет попадания посторонних объектов).

При определении значимых границ класса нарушенных земель на зимнем снимке в искомый класс попадают как объекты инфраструктуры (площадки размещения объектов и линейные объекты дорожно-транспортной сети), так и участки, вызывающие искажения определяемого класса – пойменная и овражно-балочная растительность и лесозащитные полосы, обрамляющие сельскохозяйственные угодья. Было решено включить объекты «пойменная и овражно-балочная растительность, лесозащитные полосы» в класс «нарушенные земли»: пойменная и овражно-балочная растительность, а также лесозащитные полосы существуют на всех изображениях временного ряда без кардинальных изменений; соответственно, взаимно нивелируются при подсчете изменений площади нарушенных земель.

Наиболее информативным для выделения класса «нарушенные земли» оказался метод Co-Occurrence Measures – его точность составляет от 75 до 80% (рис. 23, приложение 4).

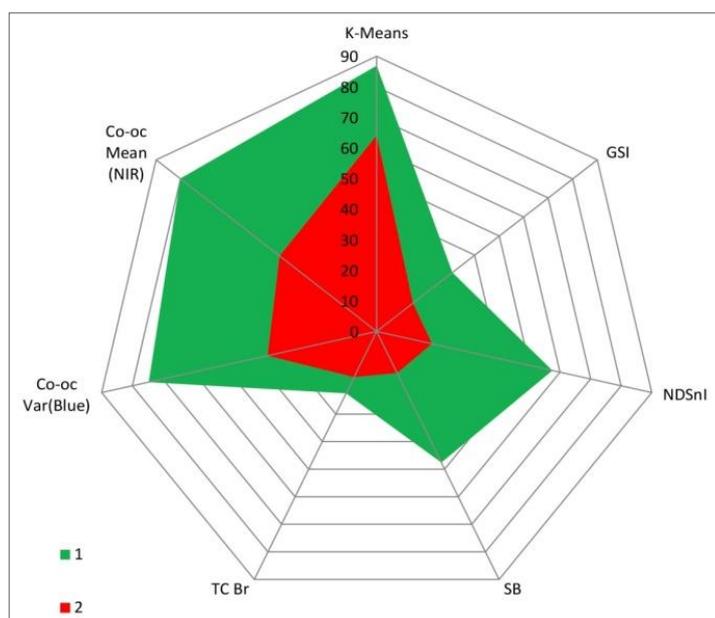


Рисунок 23. Диаграмма точности распознавания класса «нарушенные земли» при использовании различных методов спектральных преобразований: 1 - точность распознавания нарушенных земель (%), 2 - ложное распознавание в результате включения посторонних объектов (%).

С использованием предложенного способа распознавания эксплуатируемых нарушенных земель в степной зоне выстроен долговременный динамический ряд нарушений. Фактор доступности снимков Ландсат значительно повышает практическую ценность метода, снижая финансовые ограничения его применения, что может способствовать внедрению регулярного мониторинга проблемных зон.

В ситуации, когда изучаемая территория велика, а доступ на объекты исследования ограничен, предложенный метод является доступным и информативным способом получения оперативной информации о происходящих трансформационных процессах.

Ограничение авторского подхода заключается в том, что с его помощью возможно выявление лишь трансформации земель, эксплуатируемых в период даты съемки спутникового изображения. Нарушенные ранее, но не рекультивированные надлежащим образом участки выявлены не будут. Тем не менее, разработанный метод не имеет аналогов и позволяет картировать нарушенные в определенный момент времени степные территории с тем, чтобы проводить в дальнейшем регулярный мониторинг - оценку их состояния и специфичность использования.

### **3.3. Динамика фрагментации ландшафтов**

Рост площади нарушенных земель обуславливает возникновение и развитие такого симптоматичного индикатора техногенной трансформации ландшафтов, как их фрагментация, широко освещаемая в научной литературе (Агаханянц, 2003; Jaeger и др., 2007; Белоновская и др., 2014; Johnstone и др., 2014; Ramesh и др., 2015). В степной зоне негативное влияние фрагментации усиливается отсутствием ярусности растительного покрова, способствуя разрушению местообитаний степных сообществ, ставя под угрозу их функциональную целостность.

Используя метод выявления эксплуатируемых нарушенных земель (см. подгл. 3.2), выполнен анализ их динамики на ключевом участке №7 (часть Бобровского нефтегазового месторождения). Использовалась серия изображений спутников Ландсат, включающая 5 разновременных снимков (табл. 10).

Таблица 10. Снимки спутников Ландсат, использованные для анализа динамики нарушенных земель на ключевом участке №7 (Бобровское нефтегазовое месторождение).

Номер спутника Ландсат, сенсор		Дата снимка
Ландсат 5	TM	28.02.1988 г.
Ландсат 7	ETM+	08.12.2001 г.
Ландсат 5	TM	21.02. 2009 г.
Ландсат 7	ETM+	15.03.2014 г.
Ландсат 7	ETM +	02.03.2015 г.

При подборе снимков особое внимание уделялось случаям выпадения осадков в период, предшествующий дате снимка. Если, по данным архива метеостанции, снегопад наблюдался за 2-3 дня до съемки или непосредственно в ее день, снимок считался непригодным для изучения, так как нарушенные земли покрывались снегом и разница в спектральных характеристиках искомых объектов и окружающих незатронутых ландшафтов значительно снижалась. К сожалению, представленный временной ряд не включает снимки периода, предшествующего началу разработки месторождения (1970 г.) или начального этапа его освоения – в архиве Ландсат нет пригодных снимков. Обработка и анализ спутниковых изображений осуществлялись в ПО ENVI и среде ArcGIS. На всех изображениях временного ряда идентифицировался класс «нарушенные земли» (рис. 24).

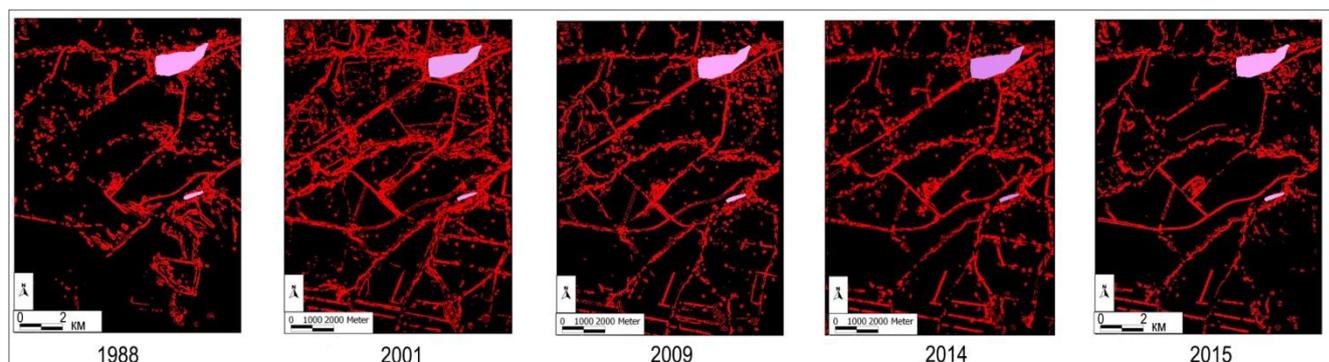


Рисунок 24. Пространственно-временная неоднородность нарушенных земель и фрагментации ландшафтов в период с 1988 по 2015 гг. на ключевом участке №7 (Бобровское месторождение) на основе классификации снимков

Ландсат: 1 - нарушенные земли (пик – в 2001 г.), 2 - населенные пункты (Mjachina, Ну, Chibilyev, 2018).

В программе Fragstats 4.2. рассчитывались параметры фрагментации ландшафтов. За 27 лет эксплуатации месторождения (с 1988 по 2015 гг.) максимальные показатели фрагментации отмечены в период наиболее интенсивной разработки Бобровского месторождения - с 2001 по 2009 гг. В 2001 г. количество фрагментов ландшафта выросло более чем в 3 раза по сравнению с начальными этапами освоения (1988 г.). Площадь окружающих незатронутых техногенным воздействием ландшафтов существенно сократилась, средний размер их частей уменьшился в 6 раз. С 2009 г. отмечается снижение общей площади эксплуатируемых нарушенных земель и сокращение фрагментации ландшафтов. К 2015 г. общая площадь эксплуатируемых нарушенных земель снизилась более чем в 1,5 раза по сравнению с периодом наиболее интенсивной разработки месторождения (табл. 11).

Таблица 11. Динамика нарушенных земель и параметров фрагментации ландшафтов на ключевом участке №7 (часть Бобровского месторождения)

Дата съемки	Нарушенные земли / Окружающий ландшафт	Общая площадь / Доля		Фрагментация ландшафтов		
		Общая площадь (га)	Доля от общей площади (%)	Кол-во фрагментов ландшафта	Плотность фрагментов (фрагмент/га)	Средняя площадь фрагмента (га)
28.02. 1988	Общая площадь	15 694,38	100	720	0,05	21,81
	Нарушенные земли	1 847,16	11,77	<b>495</b>	0,27	3,73
	Окружающий ландшафт	13 847,22	88,23	225	0,02	61,54
08.01. 2001	Общая площадь	15694,38	100	2684	0,17	5,85
	Нарушенные земли	3 614,85	23,01	<b>1528</b>	0,42	2,37
	Окружающий ландшафт	12 079,53	76,99	1156	0,10	10,45
21.02.	Общая площадь	15 694,38	100	2026	0,13	7,75
	Нарушенные	2 297,70	14,64	<b>1408</b>	0,34	1,63

2009	земли					
	Окружающий ландшафт	13 396,68	85,36	618	0,61	21,68
03.03. 2014	Общая площадь	15 694,38	100	1790	0,11	8,77
	Нарушенные земли	2 291,94	15,83	<b>1075</b>	0,47	2,13
	Окружающий ландшафт	12 186,00	84,17	715	0,06	17,04
02.03. 2015	Общая площадь	15 694,38	100	1286	0,08	12,20
	Нарушенные земли	1 734,84	11,05	<b>849</b>	0,49	2,04
	Окружающий ландшафт	13 959,54	88,95	437	0,03	31,94

Рост фрагментации произошел, по большей части, за счет увеличения плотности дорожной сети месторождения, соединяющей друг с другом растущее количество нефтегазопромысловых объектов (рис. 25).

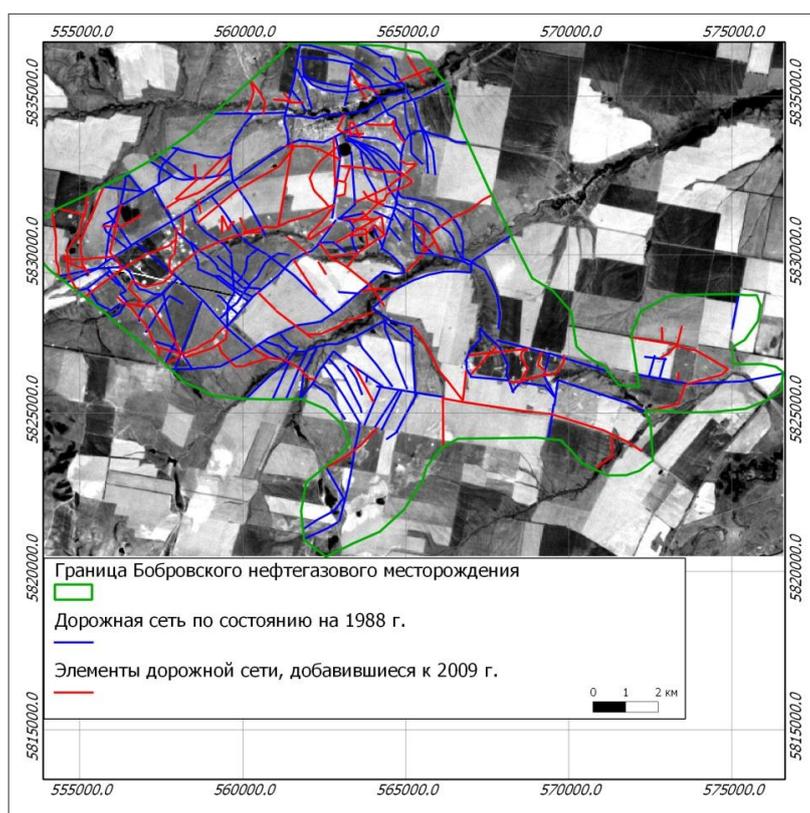


Рисунок 25. Прирост основных элементов дорожной сети в границах ключевого участка №7 за 20 лет эксплуатации Бобровского месторождения.

Однако на летних снимках Google Earth на ключевом участке №7 четко визуализируются дополнительные площади нарушенных земель, не

идентифицируемые на зимних снимках. Можно предположить, что часть площадок с объектами нефтегазопромысла, выведенных из использования, не подвергались надлежащим процедурам восстановления, чем объясняется их хорошая визуализация на бесснежных изображениях при отсутствии на заснеженных.

Бездействующие объекты (скважины), по некоторым источникам (Книга нефти, 2012), могут находиться в консервации и/или ликвидации, но, в любом случае, оставшийся полигон с техническим сооружением в центре, подъездными путями, и, иногда, локальной трубопроводной сетью переходят в разряд «нефтяного геоэкологического наследия», превращаясь в новый неотъемлемый компонент степного ландшафта.

### **3.4. Изменения биоразнообразия**

В ходе техногенного воздействия изменяются условия среды обитания организмов на участках нефтегазопромыслов, вследствие чего происходит изменение биоразнообразия на затрагиваемой территории. В частности, возможно сокращение численности млекопитающих, обеднение их видового состава. Так, J.A. Jaeger с соавторами (2007) обосновывают наличие связи между уровнем фрагментации ландшафтов и сокращением численности млекопитающих. Условием сохранения вида является репродуктивная доступность особей – встреча разнополых особей. Существующие расчетные возможности позволяют вывести формулу подсчета индекса эффективного каркаса  $K_{эф}$ , выражающего вероятность связанности двух случайно выбранных фрагментов естественных ландшафтов. Индекс эффективного каркаса  $K_{эф}$  рассчитывается исходя из числа фрагментов и их площади, характеризует степень связанности естественных фрагментов, определяя вероятность репродуктивного успеха. Чем выше значение индекса  $K_{эф}$ , тем выше степень связанности участков естественных ландшафтов и тем выше вероятность встречи двух разнополых особей. Максимальное значение

$K_{эф}$  достигается в случае цельного нефрагментированного ландшафта. Появление и ужесточение дробности (фрагментации) подразумевает снижение значения индекса эффективного каркаса, которое может достигать нуля при полном уничтожении участков естественных ландшафтов. Увеличение дробности – количества фрагментов исходного ландшафта вследствие техногенного воздействия - является одним из основных факторов снижения биоразнообразия в пространстве и во времени. Исходя из того, что основная причина роста фрагментации ландшафтов – рост плотности дорожной сети месторождения, можно связать указанный показатель плотности, индекс эффективного каркаса и остроту геоэкологической ситуации на конкретной территории в аспекте возможного изоляционного изменения биоразнообразия. Уровень остроты геоэкологической ситуации определяется по кратности превышения порогового значения плотности дорожной сети в ландшафте (см. подгл. 3.1). В таблице 12 представлен пример изменения остроты геоэкологической ситуации в зависимости от стадии разработки Бобровского нефтегазового месторождения.

Таблица 12. Изменение остроты геоэкологической ситуации в связи с ростом фрагментации ландшафтов и сокращением биоразнообразия на участке Бобровского нефтегазового месторождения (ключ. уч-к №7)

Дата снимка	Кол-во фрагментов на участке*	Плотность дорожной сети на участке, км/км <sup>2</sup>	$K_{эф}$	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

\* согласно таблице 11

Следующий важный фактор потери условий обитания - шумовое воздействие на биоту. В процессе полевых исследований степных участков вблизи скважин, оборудованных так называемыми станками-качалками, было выявлено, что звук работы этого механизма (стук и/или скрежет) может

распространяться в радиусе до 300 м, в зависимости от уровня громкости издаваемого звука, направления и скорости ветра, морфологии рельефа. Источниками шума на нефтегазопромислах также являются генераторы, электронасосы скважин, автотранспорт. Доказано, что постоянное акустическое воздействие приводит к многочисленным нарушениям в функционировании эндокринной и вегетативной нервных систем млекопитающих (Goines, Hagler, 2007). Исследователи отмечают, что шум работающих агрегатов нефтегазодобычи действует как значительный стрессовый фактор, отпугивающий крупных и мелких животных, создавая, вкупе с фрагментацией, кумулятивный эффект потери условий обитания и снижения биоразнообразия исходных геосистем (Sawyer и др., 2011). Многочисленными исследованиями подтверждено снижение частоты встречаемости видового разнообразия птиц в зонах шумового воздействия (Rheindt, 2003; Swaddle, Page, 2007; Ortega, 2012). На открытых степных пространствах негативное влияние шумового воздействия усиливается безлесностью: заслон древесно-кустарниковой растительности способен значительно снизить шумовое воздействие на организмы посредством поглощения звуковых волн (Margaritis, Kang, 2016).

Несмотря на многочисленность исследований по воздействию нефтегазодобычи на биоту лишь немногие авторы оперируют реальными данными по изменению численности млекопитающих, переходя к конкретным цифрам. Так, опытным путем доказано снижение численности мелких млекопитающих в районах нефтедобычи Среднего Приобья (Гашев, 2000). Еще одно исследование выявило, что активная производственная деятельность по обустройству Бованенковского газоконденсатного месторождения могла привести к критическому сокращению численности ямальской популяции песца (Добринский, Сосин, 1995). Зарубежные исследователи показали неблагоприятное воздействие на копытных животных на нефтегазовых месторождениях США и Канады (Easterly и др., 1991).

Проанализировано влияние нефтегазодобывающего производства на численность степной фауны Оренбургской области, которая может

рассматриваться в качестве пространственного индикатора общего состояния степных ландшафтов (подробнее см. Барбазюк, Мячина, 2018). Оценка влияния нефтегазодобычи на численность и распространение млекопитающих выполнялась в разрезе 25-ти муниципальных нефтегазодобывающих районов, основой анализа послужило ранее выполненное ранжирование районов по уровням техногенной трансформации (Чибилёв, Мячина, 2007). На основе анализа показателей техногенной нагрузки были выделены муниципальные районы с различными уровнями техногенной трансформации естественных ландшафтов - от незначительного до максимального. Затем нефтегазодобывающие районы были объединены в группы с сильным, средним и слабым уровнем трансформации ландшафтов (рис. 26).

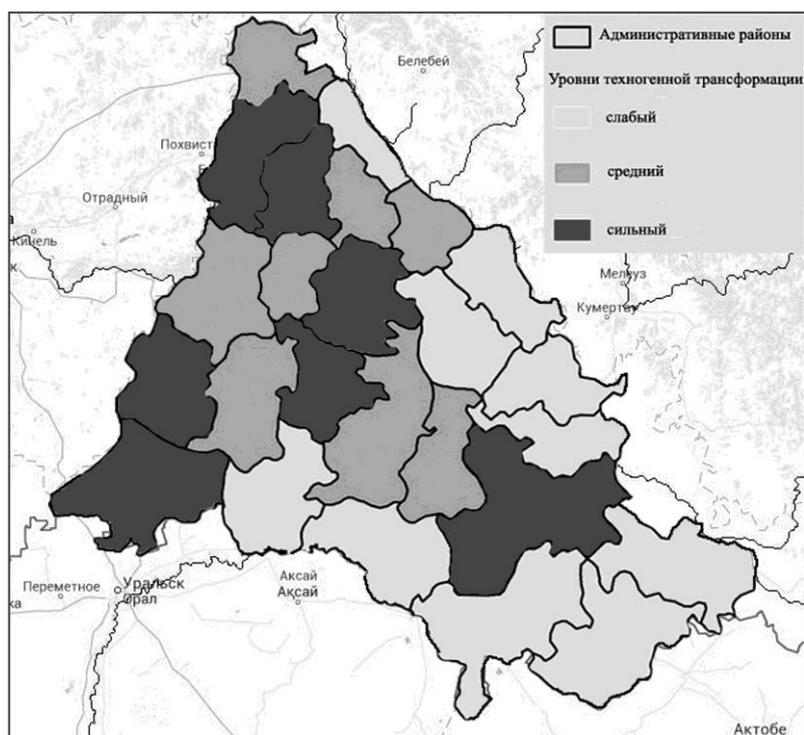


Рисунок 26. Типология техногенной трансформации ландшафтов муниципальных районов Оренбургской области (на основе: Чибилёв, Мячина, 2007).

В качестве индикаторов изменения биоразнообразия для каждого района были выбраны виды, широко распространенные в степной зоне: сурок *Marmota bobak* (данные за 2011-2014 гг.), обыкновенная лисица *Vulpes vulpes*, заяц-русак

*Lepus europaeus*, сибирская косуля *Capreolus pygargus* (данные за 1998-2014 гг.). Официальные данные предоставлены ФГБУ «Центрохотконтроль» Министерства лесного и охотничьего хозяйства Оренбургской области. Многолетняя (за 17 лет) динамика численности сибирской косули, зайца-русака и обыкновенной лисицы выявлена во всех группах районов, а анализ средних значений численности проводился в двух группах районов – со слабой и сильной трансформацией ландшафтов. Распределение численности всех исследованных видов отличалось от нормального, в связи с чем применялись непараметрические методы оценки: ранговая корреляция Спирмена и U-критерий Манна-Уитни. Выявлено, что динамика численности животных в группах районов с сильной и слабой трансформацией ландшафтов изменялась однонаправленно. Корреляция между численностью в группах районов с сильной и слабой трансформацией для всех видов млекопитающих была положительной и высокой.

При сравнении средних значений их численности в группах районов с сильной и слабой трансформацией ландшафтов были выявлены значимые различия для сибирской косули и зайца-русака. В районах с интенсивной нефтегазодобычей средняя многолетняя численность сибирской косули (0,66 особей/1000 га) оказалась достоверно ниже (~ в 1,5 раза) по сравнению со средней многолетней численностью в районах со слабой трансформацией ландшафтов (1,03 особей/1000 га). Для зайца-русака различия в средней многолетней численности также оказались достоверными (1,58 особей/1000 га в районах с сильной трансформацией и 2,24 особей/1000 га в районах со слабой трансформацией) – численность снижена примерно в 1,5 раза. Для сурка, несмотря на небольшой объем данных, сравнительный анализ графиков зависимости также подтвердил вероятность появления значимости различий по мере увеличения выборки: диаграммы размаха средних сурка схожи с диаграммами размаха для сибирской косули и зайца-русака - 0,89 особей на 1000/га и 1,38 особей/1000 га, соответственно (рис. 27).

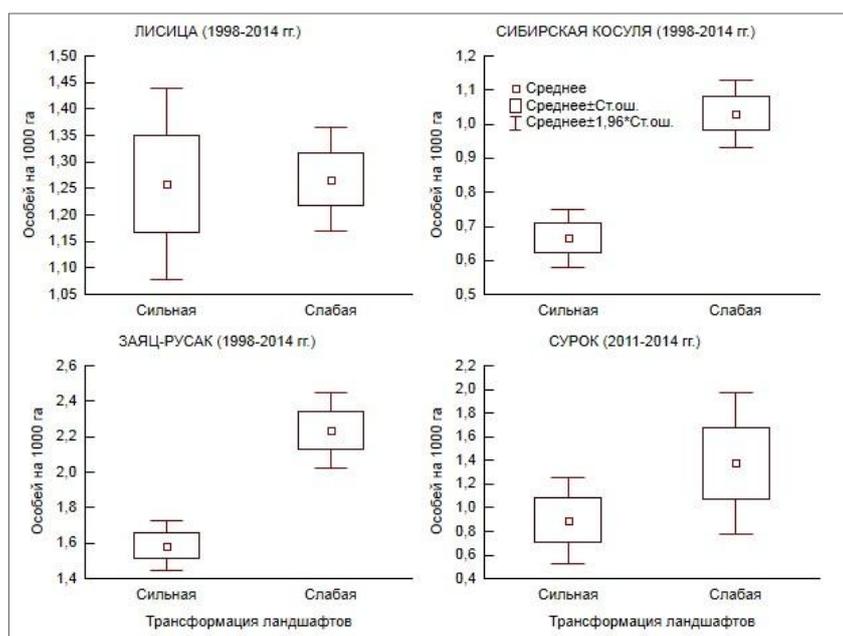


Рисунок 27. Диаграммы изменчивости средней численности 4-х исследуемых видов млекопитающих за 1998 – 2014 гг. по группам муниципальных районов с сильной и слабой трансформацией ландшафтов вследствие нефтегазодобычи (Источник: Барбазюк, Мячина, 2018).

Для лисицы различия в средних значениях численности в двух группах районов оказались статистически незначимыми (1,26 особей/1000 га и 1,27 особей/1000 га). Полученные результаты показывают, что в районах с развитой инфраструктурой нефтегазодобычи средняя численность сибирской косули, зайца-русака и, с высокой вероятностью, сурка остается ниже по сравнению с районами, характеризующимися незначительной трансформацией ландшафтов. Средняя численность обыкновенной лисицы в двух группах районов оказалась примерно одинаковой.

Из полученных результатов следует, что развитая нефтегазодобывающая инфраструктура является лимитирующим фактором для трех видов млекопитающих из четырех. В то же время, нефтегазодобывающие объекты не лимитируют распространение обыкновенной лисицы. Стабильному пребыванию некоторых млекопитающих в зонах воздействия нефтегазовых месторождений может способствовать контрольно-пропускной режим на указанных объектах - в

этом случае месторождения выступают в роли резерватов, подобно военным полигонам. Здесь почти отсутствует выпас скота, не получают доступа охотники и браконьеры – эти факторы беспокойства зачастую минимальны.

Таким образом, влияние нефтегазодобычи на численность млекопитающих в нефтегазоносных степных районах присутствует и проявляется неоднозначно. Некоторые виды, такие как обыкновенная лисица, смогли адаптироваться и найти для себя оптимальные кормовые ресурсы и достаточные репродукционные условия даже в районах с сильным уровнем трансформации ландшафтов. Для других индикаторных степных видов – сурка, сибирской косули, зайца-русака – развитая нефтегазодобывающая инфраструктура является ограничительным фактором - средняя численности этих животных здесь всегда ниже по сравнению с более благополучными районами. При этом многолетняя кривая динамики численности изучаемых видов в районах с сильной и слабой трансформацией ландшафтов остается сходной. Это свидетельствует о действии более глобальных факторов, например, о влиянии климата на популяционные процессы, которые могут создавать синергетический и кумулятивный эффекты, воздействуя совместно с факторами техногенного влияния.

### **3.5. Развитие эрозии почв**

Одним из конфликтных аспектов нефтегазодобычи является вывод из оборота ценных и продуктивных земель для организации эффективного нефтегазопромысла, функционирование которого часто приводит к развитию и приумножению эрозионных процессов (Wang и др., 2012). Эрозия почвы является одним из основных факторов техногенной дестабилизации природных и аграрных ландшафтов, способствуя потере продуктивных сельскохозяйственных земель, создавая социально-экономическую напряженность (Arabameri, Pradhan, Bui, 2020). В результате многолетней эксплуатации нефтегазовых месторождений в природных и техногенных почвах отмечается повышенная концентрация

газообразных углеводородов, способствующих образованию грифонов (прорыв газа из затрубного пространства буровой скважины), вызывающих проседание почвенных горизонтов. При воздействии постоянных и временных водотоков на таких участках идет постепенное образование промышленной овражно-балочной сети. Для образования техногенной эрозии достаточным условием является игнорирование особенностей рельефа местности и отсутствие на участке месторождения обустроенной дренажной системы поверхностных и приповерхностных грунтовых вод. Эрозионные процессы могут возникать или усиливаться при активном использовании техники и перемещении больших объемов грунта и строительных материалов (Григорьев, Рысин, 2006).

Существенное влияние на интенсивность почвенной эрозии оказывают зональные характеристики местности: пересеченность рельефа, обилие ливневых осадков, сильная скорость ветра, иссушение почвы, невысокое содержание в ней гумуса наряду с большим количеством пылеватых и песчанистых частиц, карбонатность материнских пород усиливают процессы разрушения. Основным фактором, препятствующим развитию эрозионных процессов в степной зоне, является хорошая задернованность верхних горизонтов почвы, теряющих защитные свойства в случае внедрения техногенных объектов - например, многочисленных точечных и площадных объектов нефтегазопромысла.

Фактор склоново-экспозиционной дифференциации ландшафтных местоположений является одним из наиболее существенных, влияющих на вероятность и силу проявления эрозионных процессов - как правило, к эрозионноопасным относят участки с уклоном более 3°. На ключевых участках исследования было подсчитано количество площадок с объектами нефтегазодобычи, характеризующихся уклоном рельефа более 3° (рис. 28). Анализ уклона рельефа выполнялся с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР) SRTM3 в среде ArcGIS.



Рисунок 28. Объекты нефтегазопромысла расположены в зонах с уклоном рельефа более  $3^\circ$  (ключевой участок №10 – часть Загорского месторождения нефти).

Выявлено, что до 13% объектов нефтегазопромысла могут быть размещены на участках с уклоном рельефа более  $3^\circ$ . Такое размещение значительно увеличивает риск проявления эрозионных процессов вследствие усиления процессов смыва на склонах, лишенных достаточного растительного покрова.

Следующим важным параметром, влияющим на вероятность выветривания и интенсивность проявления эрозионных процессов, является соллярная экспозиция склона. При прочих равных условиях на южных и юго-восточных склонах зона разрушенных и поврежденных эрозией почв значительно шире, соответственно, они более подвержены негативным процессам в результате техногенных воздействий. Подобные различия связаны с дифференцированными микроклиматическими условиями, порожденными неравномерным распределением солнечного освещения (Måren и др., 2015). В северном полушарии южные склоны прогреваются быстрее, провоцируя, во-первых, более активное снеготаяние, сопряженное с динамичностью водных потоков, а во-вторых, значительно более быстрое просыхание почво-грунтов. Кроме того, в

нефтегазоносной части Волго-Уральского степного региона преобладают южные ветры, в связи с чем на наветренных южных склонах накапливается меньше снега (Географический атлас..., 1999). По этим причинам на северной, более заснеженной и тенистой стороне склонов лучше развит растительный покров, минимизирующий процессы склоновой эрозии (Jin и др., 2008).

Размещение объектов нефтегазопромысла относительно экспозиций склона анализировалось на примере ключевого участка №11, расположенного на берегах р.Большой Уран (рис. 29). Здесь объекты нефтегазовой инфраструктуры перемежаются с многочисленными сельскохозяйственными угодьями - пашнями, пастбищами, сенокосами (см. рис. 21 подгл. 3.2).

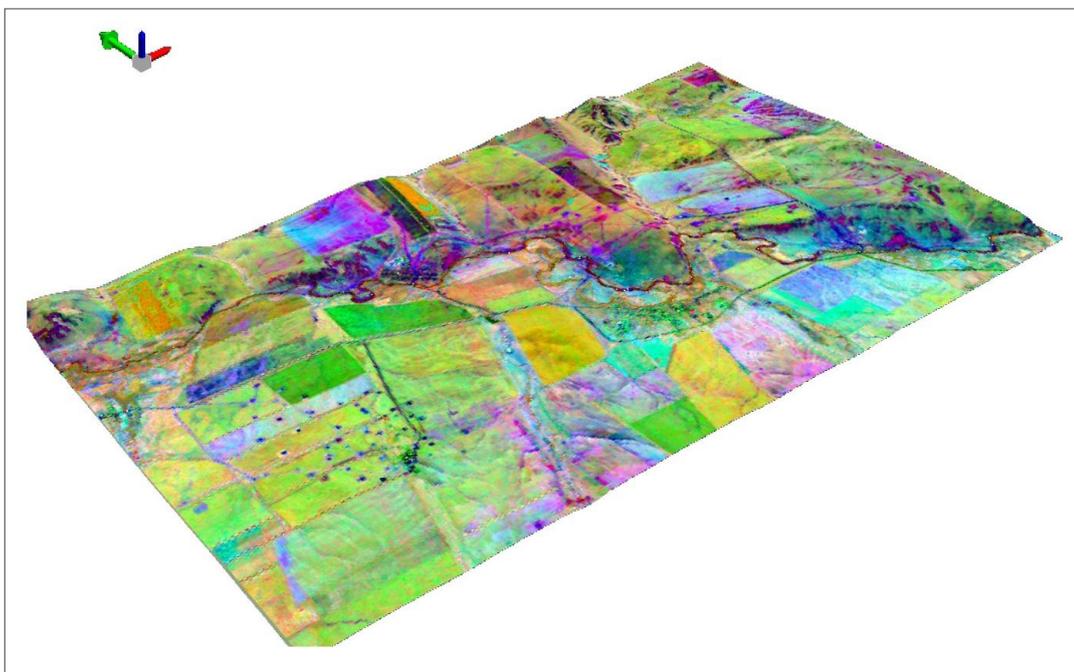


Рисунок 29. 3D-модель ключевого участка №11: площадки с объектами нефтегазопромысла, показанные точками, размещены на правом пологохолмистом и левом пологом берегах р. Большой Уран.

С помощью инструментов Spatial Analyst ПО ArcGIS было создано картографическое отображение экспозиции склонов ключевого участка, совмещенное затем с векторным слоем площадок с объектами нефтегазопромысла (рис. 30). Обнаружено, что на склонах с южной и юго-восточной экспозицией размещено 20% от общего количества площадок с объектами нефтегазопромысла.

Еще более эрозионно-уязвимыми являются зоны, характеризующиеся сочетанием склонов южной (юго-восточной) экспозиций и уклоном рельефа более 3°. Подобное сочетание приводит к синергии эффекта, способствуя активному сходу снегового покрова, что сопряжено с высокой вероятностью риска водной эрозии в результате стока талых вод. Путем интеграции соответствующих картосхем выявлено, что в подобных зонах размещены 11% всех объектов нефтегазодобычи исследуемого ключевого участка.

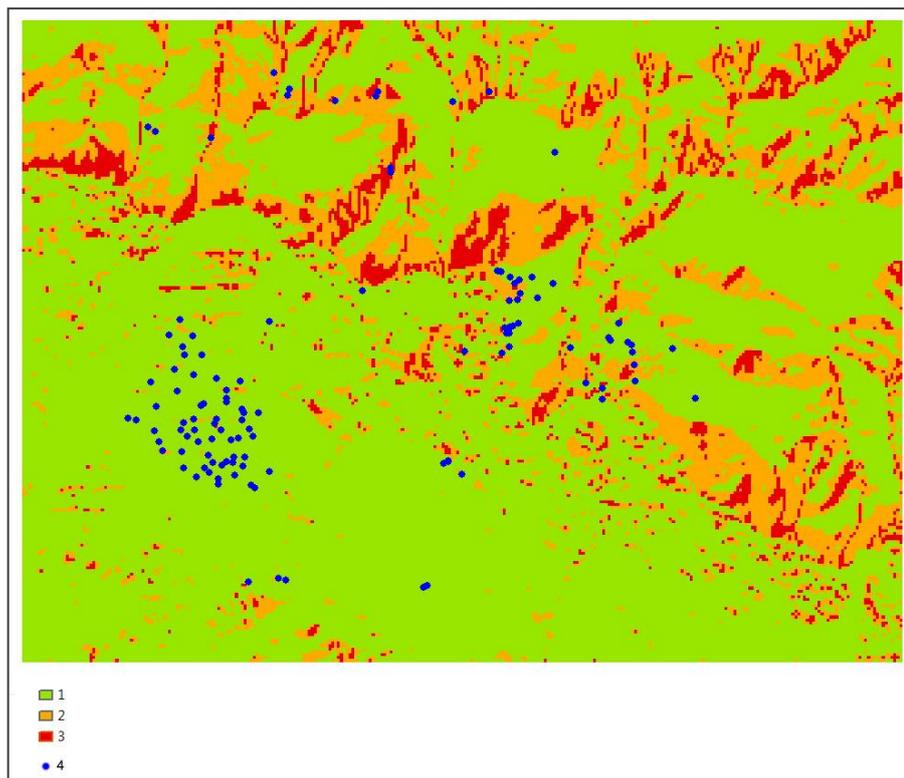


Рисунок 30. Размещение объектов нефтегазопромысла ключевого участка №11 относительно экспозиций склонов: 1 - равнинные участки и/или северные экспозиции склонов, 2 - юго-восточные экспозиции, 3 - южные экспозиции, 4 – площадки с объектами нефтегазопромысла.

Выполнен анализ влияния разработки месторождений ключевых участков №№ 2, 8, 11 на динамику эрозии почв (подробнее см. Мячина, Дубровская, Ряхов, 2020). При выборе ключевых участков соблюдались два основных условия: 1- наличие сельскохозяйственной деятельности, 2 – наличие разрабатываемого нефтяного / нефтегазового месторождения в непосредственной близости от

сельскохозяйственных земель или в их границах. Ключевой участок №2 (Самарская область) расположен на пологом водоразделе, разработка месторождения на участке началась в начале 60-х гг. XX в. Объекты нефтегазопромысла размещены в тесном соседстве с сельскохозяйственными землями. Ключевой участок №8 выделен на сырцово-холмистом водоразделе, часть которого отведена под сельскохозяйственное производство; добыча нефти на участке производится с начала 80-х гг. XX в. Ключевой участок №11 (Оренбургская область) характеризуется пологим рельефом и многочисленными сельскохозяйственными угодьями (пашни, пастбища, сенокосы), перемежающимися с объектами нефтегазодобывающей инфраструктуры - внедрение сети нефтегазопромысловых объектов здесь происходит с начала 90-х гг. XX в.

Анализ выполнялся в несколько этапов. На первом этапе оцифровывались элементы эрозионной сети для трех временных срезов – 1985, 2000, 2019 гг. На втором этапе элементы эрозионной сети классифицировались в два класса: овраги (глубина 10-20 м, ширина до 30 м) и балки (глубина до 30 м, ширина до 50 м) (Леонтьев, Рычагов, 1979). Распознавание элементов производилось на основе экспертного дешифрирования доступных космических снимков, с учетом существующих подходов и возможных помех (Ермолаев и др., 2017).

На третьем этапе осуществлялось зонирование активности эрозионных процессов. Зонирование основано на значениях плотности пространственного распределения элементов эрозионной сети. Для каждого изучаемого временного среза выделялись следующие зоны:

- 1 - с очень низкой плотностью элементов (менее 200 м/км<sup>2</sup>),
- 2 – с низкой плотностью элементов (200-400 м/км<sup>2</sup>),
- 3 – со средней плотностью элементов (400-600 м/км<sup>2</sup>),
- 4 – с высокой плотностью элементов (600-800 м/км<sup>2</sup>),
- 5 – с очень высокой плотностью элементов (более 800 м/км<sup>2</sup>).

На четвертом, завершающем этапе выполнен анализ степени активности эрозионных процессов. На каждом ключевом участке динамические ряды

выделенных зон сопоставлены при помощи алгоритма наложения пространственной информации в ПО ArcGIS. Выделено шесть направлений динамики эрозии: 1 – устойчивое снижение, 2 – снижение, 3 – отсутствие динамики, 4 – слабый рост, 5 – устойчивый рост, 6 – значительный рост.

Хотя основа эрозионной сети участков сформировалась до начала активной разработки месторождений, нефтегазодобыча в кульминационном цикле своего развития является активным катализатором экзогенных процессов – например, длина эрозионной сети на ключевом участке №2 возросла за этот период на 10%. На данный момент наблюдается ослабление интенсивности процессов оврагообразования (рис. 31). Затухание деструктивных процессов связано со снижением техногенной нагрузки: нефтяное месторождение на участке №2 разрабатывается более 50 лет, за которые миновало несколько этапов своего жизненного цикла, включая этап максимальной добычи и максимальной техногенной нагрузки. Кульминационный этап ослабевает с середины 2000-х гг., что отражено на диаграмме распределения зон активности (плотности) эрозионных процессов (рис. 32).

На ключевом участке №8 также отмечается значительный рост протяженности элементов эрозионной сети за период изучения. Соотношение общей длины оврагов в 2019 г. к их длине в 1985 г. составило 480% - прирост более чем на 20 км (рис. 31). Существенно уменьшилась площадь зон с очень низкой эрозионной активностью (более чем на 10%) и возросла доля зон с высокой (с 2,8% до 6,6%) и очень высокой (с 0,7% до 4,7%) эрозионной активностью. При этом доля зон с низкой эрозионной активностью характеризуется наибольшей устойчивостью - изменения не превышают 1% (см. рис. 32).

На ключевом участке №11 большая часть территории до внедрения нефтегазодобывающей инфраструктуры отличалась низкой и очень низкой степенью эрозионной активности: ее возрастание начинается после 2000 г. - на 20% (см. рис. 31, 32).

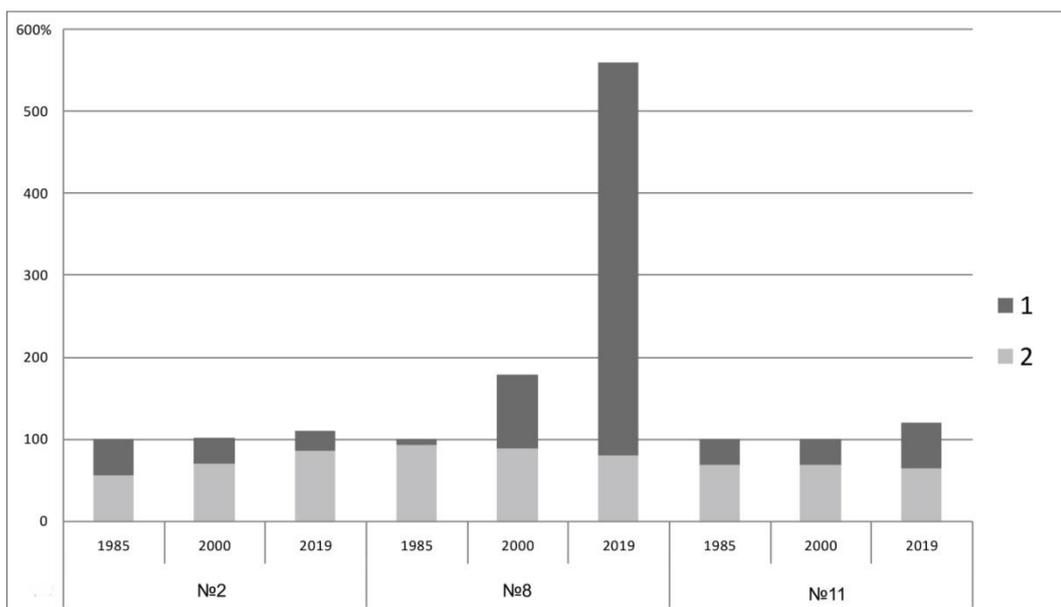


Рисунок 31. Динамика протяженности элементов эрозионной сети на ключевых участках исследования, где 1 - овраги, 2 - балки.

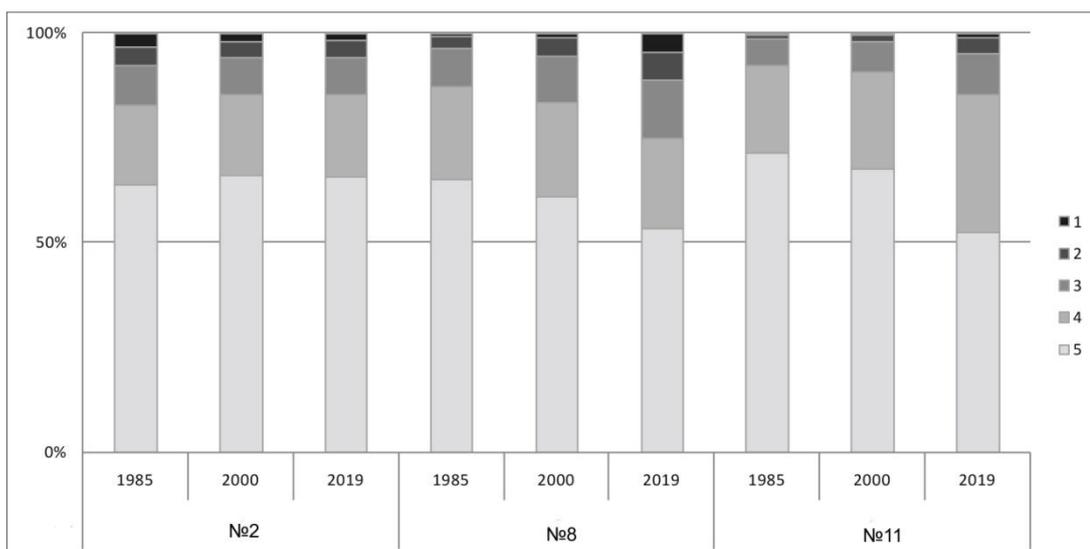


Рисунок 32. Соотношение зон плотности элементов эрозионной сети на ключевых участках исследования, где 1 – зоны с очень высокой плотностью элементов, 2 – зоны с высокой плотностью, 3 – зоны со средней плотностью, 4 – зоны с низкой плотностью, 5 – зоны с очень низкой плотностью элементов эрозионной сети.

Увеличение количества объектов нефтегазопромысла и, соответственно, интенсивности техногенного воздействия, совпадает с периодом роста эрозионной сети на участке - можно считать, что эксплуатация месторождения привела к образованию техногенных оврагов. Такие овраги часто расположены среди площадок скважин, существенно активизируя деструктивные процессы, направленные в сторону базиса эрозии (рис. 33).



Рисунок 33. Овраг среди объектов нефтегазопромысла на ключевом участке №11.

Картосхема, представленная на рисунке 34, демонстрирует ситуацию, сложившуюся на участках исследования №№ 2, 8 и 11 к 2019 году. Судя по всему, высокая плотность технических сооружений благоприятствует максимальной концентрации элементов эрозионной сети по сравнению с общей площадью исследуемого участка.

Переход на стадию снижения нагрузки способствует развитию процессов самовосстановления ландшафтов. Земли на таких участках, предварительно выведенные из сельскохозяйственного оборота, не возвращены в него в полном объеме и, соответственно, не подвергаются на данный момент антропогенному воздействию, образуя мало- и средневозрастные залежи (рис. 35).

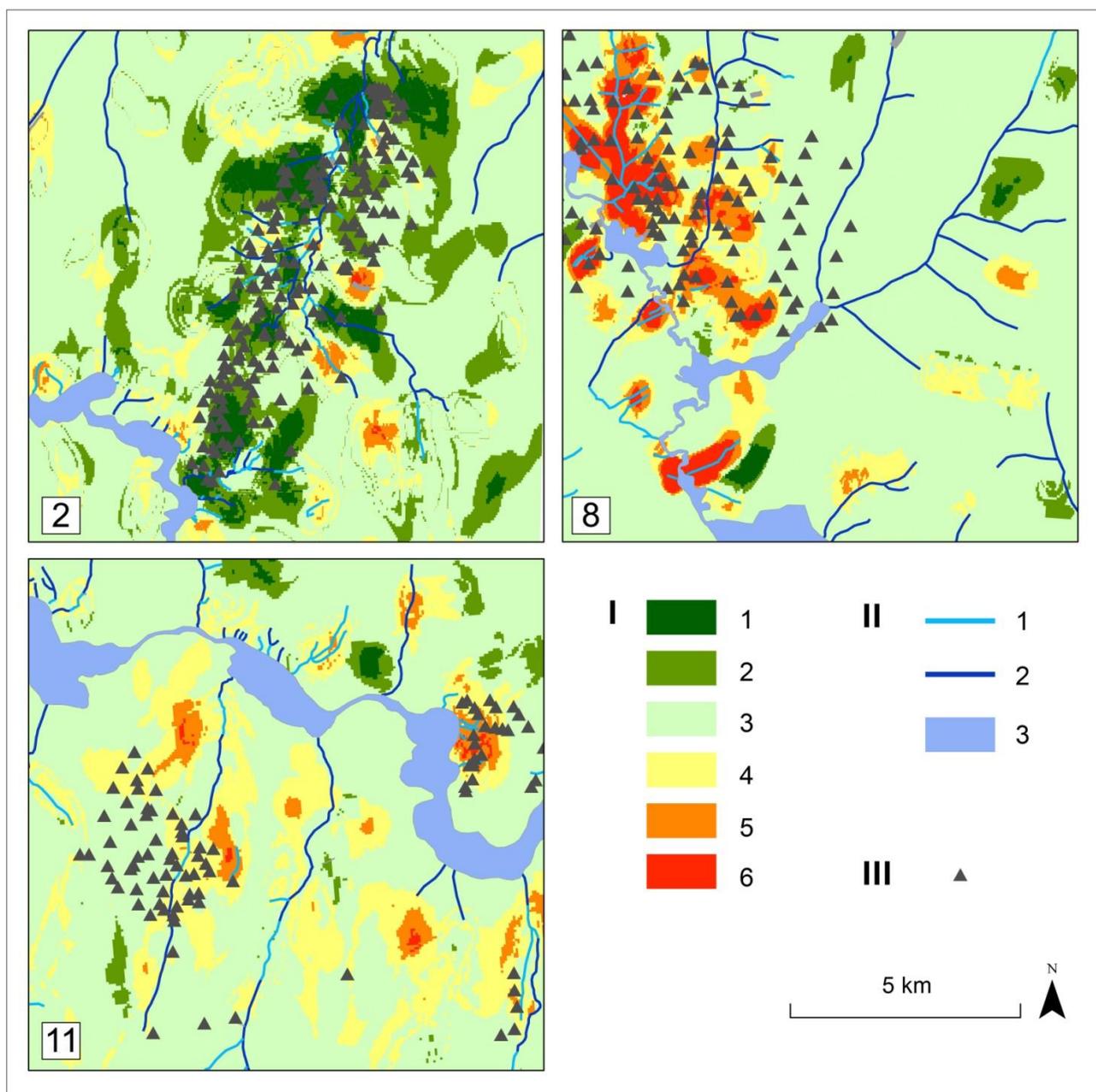


Рисунок 34. Интегральная картосхема динамики эрозионных процессов (1985-2019 гг.) и структуры эрозионной сети на ключевых участках исследования (№№ 1, 2, 3): **I** - Тренды активности эрозионных процессов: 1 - устойчивое снижение, 2 - снижение, 3 - тренд отсутствует, 4 - повышение, 5 - устойчивое повышение, 5 - значительное повышение; **II** - Структура эрозионной сети (на 2019 г.): 1 - овраги, 2 - балки, 3 - долина реки; **III** - Объекты нефтегазопромысла (Источник: Мячина, Дубровская, Ряхов, 2020).



Рисунок 35. Средневозрастные (10-20 лет) залежные земли на территории нефтегазопромысла ключевого участка №11.

На исследуемых ключевых участках выявлено увеличение площади эродированных земель в диапазоне от 3,5 до 14% за 35 лет функционирования месторождений (рис. 36).

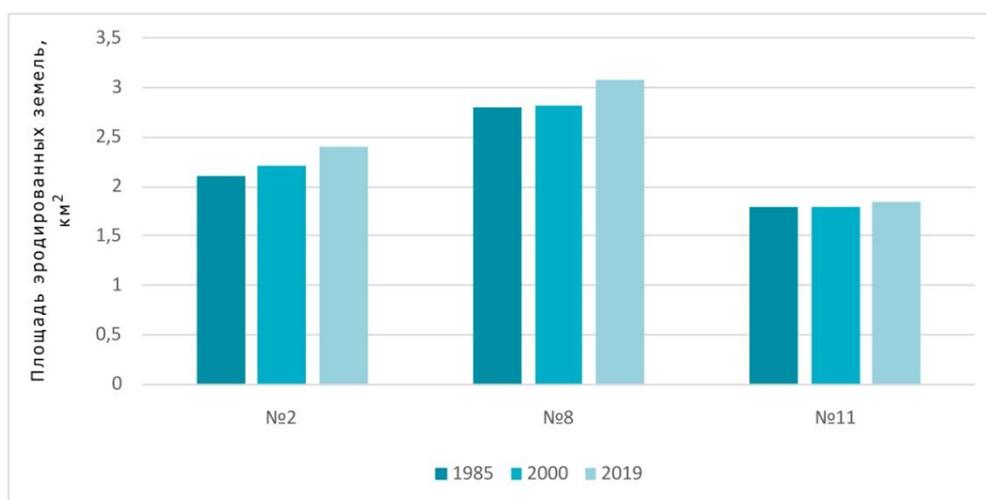


Рисунок 36. Многолетний рост площади эродированных земель на Покровском, Росташинском и Боголюбковском месторождениях Волго-Уральского степного региона (ключевые участки №№ 2, 8, 11 соответственно).

Можно утверждать, что процессы нефтегазодобычи и обслуживания месторождений катализируют протекание эрозионных процессов. На участках исследования достаточно четко прослеживаются пространственные тренды изменения эрозионной активности. Положительные тренды относятся к мало- и средневозрастным залежам, отрицательные - к зонам расширения инфраструктуры нефтегазопромыслов. Выделяются существенные различия в пространственном распределении плотности эрозионной сети – ее элементы тяготеют к ареалам активных объектов нефтегазопромыслов, где общая протяженность элементов эрозионной сети может увеличиваться более чем в 4 раза. Зоны внедрения объектов нефтегазопромыслов являются наиболее динамично развивающимися в общей картине эрозионной сети участков, а деструктивные техногенные воздействия наиболее активны на стадии максимально интенсивного освоения месторождения. Этапы снижения добычи нефтегазового сырья и, соответственно, техногенной нагрузки, сопровождаются устойчивым снижением эрозионных процессов.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, согласно которым в речных водосборах, где идет разработка нефтегазовых месторождений, продолжается активное оврагообразование (Ермолаев и др., 2016).

Сельскохозяйственные земли, находящиеся в зоне влияния нефтегазопромыслов, подвержены повышенному риску развития новых элементов эрозионной сети и активизации существующих – активность оврагообразования может возрасти более чем на 20%. Разработка методов сохранения таких сельскохозяйственных земель является обязательным требованием для поддержания аграрного производства и сохранения благополучных социально-экономических условий в нефтегазоносных регионах.

### 3.6. Последствия нефтегазодобычи для водных объектов

Функционирование нефтегазопромыслов сопровождается, как правило, многосторонним негативным воздействием на поверхностные и подземные воды. В зонах эксплуатации месторождений происходит нарушение процессов формирования склонового стока, что преимущественно связано с насыпями площадок скважин и других объектов, обустройством линейных сооружений, формированием шламонакопителей и карьеров в грунте, созданием насыпей через малые водотоки для транспортировочных нужд. Существуют исследования, убедительно доказывающие, что изменение ландшафтной структуры водосборов, перехват стока карьерами и техногенными формами рельефа сокращают годовой сток малых рек севера Западной Сибири на 25-30% (Хорошавин, 2005). Наличие техногенных сооружений нефтегазопромыслов (дорог, площадок, карьеров и т. п.) на участках тундровых ландшафтов приводит, в одних случаях, к практически полному прекращению поверхностного стока с трансформированного участка, а в других – к увеличению стока более чем в 2 раза по сравнению с исходными условиями (Южаков, 2006).

Сходные трансформационные процессы и аналогичные изменения ландшафтного покрова представлены в Волго-Уральском степном регионе. Техногенная трансформация ландшафтов приводит к изменению микроформ рельефа, перекрытию ложбин стока на водосборе и, как следствие, нарушению локального режима поверхностного стока. Также осуществляется прямое механическое воздействие на водоемы, например, при строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов. В ряде случаев малые реки отводятся в сторону или пересыпаются земляными дамбами (рис. 37).

По окончании строительства на участках нефтегазопромысла русла пострадавших водотоков, как правило, не восстанавливаются, в результате чего в одних местах формируются разрушительные потоки, в других – заболоченные зоны (Шакиров, 1998).



Рисунок 37. Насыпь техногенного происхождения через водоток на ключевом участке №11.

В ландшафтах лесостепной и степной зон, отличающихся неустойчивым и недостаточным увлажнением, водный баланс может измениться и без прямого изъятия речных вод, а лишь в результате преобразования стока на водосборах (Исаченко, 1980). На примере цифровой модели рельефа ключевого участка №11 на водосборной площади р. Большой Уран выполнено наложение векторного слоя объектов нефтегазопромысла на сеть линий поверхностного стока: часть линий стока проходит непосредственно через объекты месторождения (рис. 38).

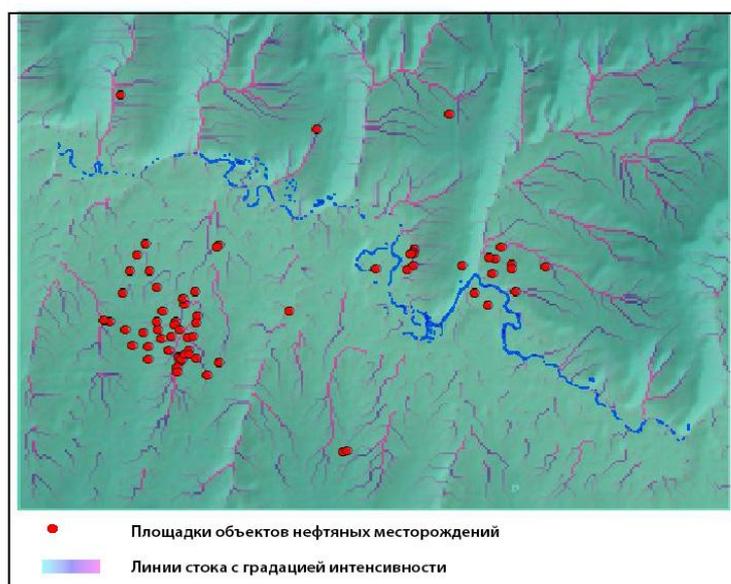


Рисунок 38. Перекрытие линий поверхностного стока р. Большой Уран на Боголюбовском месторождении нефти: 1 – объекты нефтегазопромысла, 2 –

линии стока с градацией интенсивности. При таком размещении, помимо нарушения режима стока, происходит техногенное загрязнение водотока (после аварийных разливов нефти в водотоках превышения ПДК нефтепродуктов изменяются в диапазоне от 1,2 до 6220 раз).

При таком расположении объектов, помимо нарушения режима стока, возможно техногенное заиление, являющееся следствием изменения гидрологического режима и выражающееся в загрязнении водных объектов химическими и механическими поллютантами, вносимыми с нефтегазопромыслов. Высока вероятность загрязнения водных объектов при аварийных разливах и утечках нефти, пластовых вод и химических реагентов, а также при сбросе в водотоки недостаточно очищенной воды с установок комплексной подготовки нефти. В этом случае происходит увеличение общей минерализации вод относительно фоновых показателей, появляются несвойственные водной экосистеме минеральные и органические контаминанты. Из-за особого значения поверхностного слоя гидросферы в воспроизводстве водной флоры и фауны загрязнение воды нефтью и нефтепродуктами наносит значительный ущерб, связанный как с высокой токсичностью и миграционной способностью отдельных компонентов нефти, так и с ее способностью образовывать пленку, снижая доступ кислорода к поверхности воды и изменяя режим нагревания водной поверхности. Это приводит к нарушению кислородного, углекислотного и других видов газового обмена в поверхностных слоях воды, сокращению численности рыбы, микроорганизмов, морских млекопитающих и птиц (Абросимов, 2002; Булатов, 2004). Значительные по площади разливы нефти (более 0,5% водосбора), оказывают существенное влияние на содержание нефтепродуктов в речной воде. В сочетании с высоким фоновым содержанием некоторых поллютантов, потенциально возможные аварийные разливы нефти и нефтепродуктов приводят к значительному ухудшению качества речных вод территории (Южаков, 2006).

На ключевом участке №11 выполнен точечный отбор проб воды из р. Большой Уран. Место отбора выбрано на расстоянии 100 м от добывающей

скважины, факельной установки и других технических объектов нефтегазовых месторождений. В 3-х пробах выявлено повышенное содержание нефтепродуктов относительно ПДК, в среднем в 5,5 раз. В качестве показателя нормы использовалась предельно допустимая концентрация нефти для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения в соответствии с российскими стандартами (ПДК = 0,3 мг/л).

По доступным фондовым данным Инспекции по охране окружающей среды Оренбургской области, превышения ПДК нефтепродуктов в водных пробах, отбираемых после аварийных разливов нефти, фиксируются в диапазоне от 1,2 до 6220 раз, а превышения ПДК наблюдаются в течение месяца после аварийного выброса. Превышение питьевых нормативов по нефтепродуктам, железу и жесткости в водных объектах Оренбургской области отмечалось неоднократно (Гаев, Савилова, 2017), что неудивительно: в регионе исследования месторождения тесно соседствуют с водотоками (рис. 39).

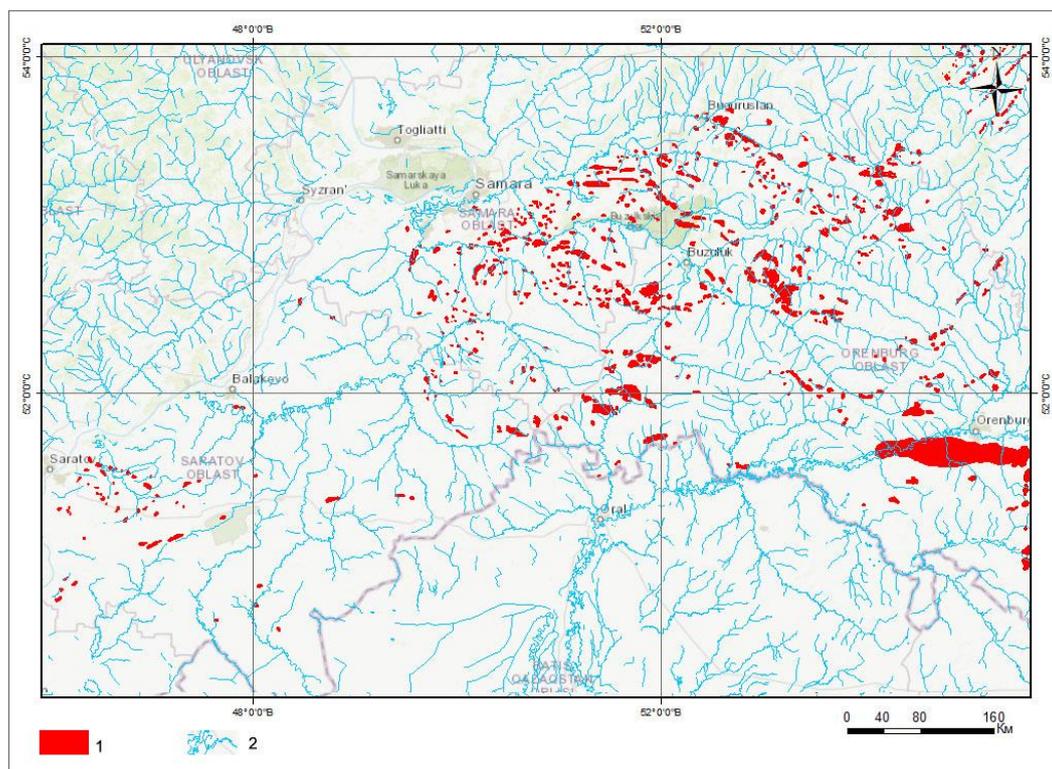


Рисунок 39. Тесное взаиморасположение нефтегазовых месторождений и водных объектов в Волго-Уральском степном регионе: 1 – нефтегазовые месторождения, 2 – водотоки и водоемы.

Согласно А.Я. Гаеву и соавторам, от техногенных залежей нефтепродуктов, выявленных на многих объектах нефтегазового комплекса Волго-Уральского степного региона, обнаружены потоки углеводородов в подпочвенном воздухе и воде. В ряде случаев они достигают русел рек. В загрязнении поверхностных вод участвуют сульфаты и хлориды, ПДК которых превышены в 1,5-2 раза (Гаев и др., 2007). Таким образом, в условиях длительной эксплуатации месторождений углеводородов в Волго-Уральском регионе неудовлетворительная геоэкологическая ситуация с превышением ПДК нефтепродуктов в водотоках является типичной.

Основным параметром, определяющим вероятность загрязнения водных объектов, можно считать расстояние от источника воздействия. Для анализа роли пространственного размещения объектов нефтегазопромыслов относительно водных объектов на ключевых участках были выполнены идентификация и оцифровка водотоков на основе космических снимков высокого пространственного разрешения, предоставляемых ESRI посредством ArcGIS. Для каждого водотока определена условно-водоохранная прилегающая зона шириной 500 м, для которой было рассчитано количество размещенных в ее пределах объектов нефтегазопромысла (табл. 13). Такая ширина условно-водоохранной зоны принималась в качестве оптимальной на основе заключений ряда исследователей (Trabucchi и др., 2012), собственных результатов полевых работ и положений ныне не действующего СНиП 2.04.02-84, согласно которым для равнинных территорий именно это расстояние считается относительно безопасным и препятствующим загрязнению водотока.

Таблица 13. Размещение объектов нефтегазопромислов относительно водотоков на ключевых участках исследования

Год начала разработки месторождения на ключ. уч-ке	Доля площадок (% от их общего кол-ва), расположенных в пределах 500 м от водных объектов
1989	0
1959	37
1977	14
1990	0
1947	21
1982	57
1966	38
1961	13
1988	4

Представленные в таблице 13 результаты показывают, что объекты нефтегазопромислов Волго-Уральского степного региона в 20% случаев размещены без учета геоэкологических рисков для водных объектов, при этом негативному воздействию геохимического и механического загрязнения подвергаются 78% водотоков и водоемов. В степной зоне, отличающейся неравномерной и недостаточной обводненностью, подобная обстановка может повлечь за собой крайне негативные геоэкологические последствия.

#### *Подземные воды*

В результате длительной разработки множества месторождений нефти и газа в недрах неизбежно снижается пластовое давление, в связи с чем значительно изменяются геоэкологические условия в системах подземных вод – их гидродинамика, направление и скорость движения, нарушая геодинамическое равновесие в геологической среде. В районах месторождений создаются условия для нисходящего и восходящего потоков вод, а также увеличения латерального притока с прилегающих участков. Это приводит к возникновению опасных геодинамических процессов и многократному увеличению количества и интенсивности сейсмических событий в районах добычи углеводородов. По результатам исследований Ю.М. Нестеренко (2017), выполненных для Оренбургской области, добыча углеводородов в основном влияет на верхнюю

часть земной коры через водную систему. Вследствие снижения пластового давления в нижнем этаже подземных вод на десятки и сотни атмосфер в регионе нарушилось естественное гидродинамическое равновесие между верхним и нижним этажами подземных вод. На некоторых месторождениях Оренбургской области пластовое давление уменьшилось на 20 МПа и более, в результате образовались гидродинамические воронки диаметром 10–30 км и более. Так, после 30-летней добычи газа на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении площадью 2500 км<sup>2</sup> произошло уменьшение давления в водоносных горизонтах на площади свыше 3000 км<sup>2</sup>.

При значительных изменениях пластовых давлений в подземных водоносных системах формируется новая техногенная структура с напряженно-деформированным состоянием, чреватым повышением сейсмической опасности территории. В районах интенсивно разрабатываемых нефтегазовых месторождений и вокруг них регистрируется основная часть наведенных сейсмических событий. Согласно Ю.М. Нестеренко (2012), в контурах месторождений нефти и газа плотность событий составляет в среднем 0,0027 ед./(км<sup>2</sup>/год). В радиусе до 10 км от границы месторождения сейсмоактивность недр уменьшается на 44% (до 0,0015). За пределами этой зоны количество сейсмических событий сокращается в 3–4 раза и составляет 0,0008 ед./(км<sup>2</sup>/год). Следовательно, в контуре месторождений и в 10 км от них отмечается повышение вероятности будущих сейсмических событий. В этой зоне происходит более 35% всех сейсмических событий на контролируемой сейсмическим мониторингом территории Южного Предуралья (рис. 40). На разрабатываемых месторождениях нефти и газа фиксируется в среднем 2–3 сейсмических события в месяц с магнитудой 1–2 и более, что на порядок выше, чем за пределами техногенного влияния (Нестеренко и др., 2015). Техногенное происхождение этих проявлений в районах нефтегазодобычи необходимо учитывать при планировании размещения новых эксплуатационных участков нефтегазопромыслов.

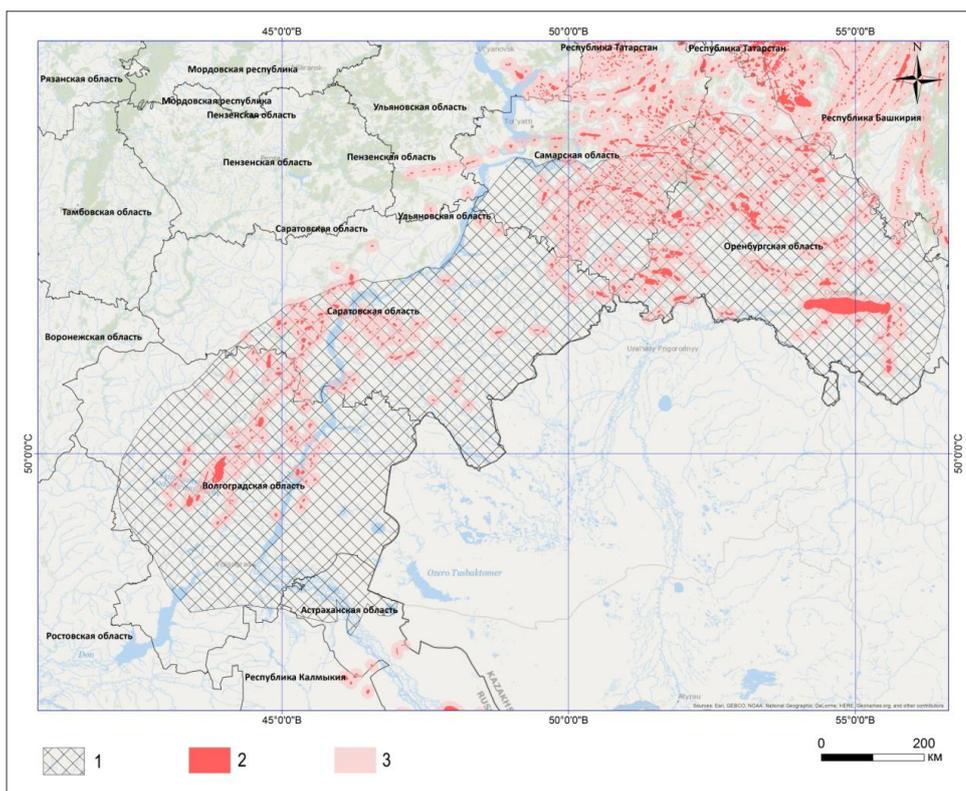


Рисунок 40. Районы повышенной сейсмической опасности, связанные с эксплуатацией нефтегазовых месторождений: 1 - Волго-Уральский степной регион, 2 - зоны наиболее высокой активности недр (контуры месторождений), 3 - зона повышенной вероятности будущих сейсмических событий.

### 3.7. Образование очагов тепловых и газохимических аномалий

Основными источниками термического и газохимического воздействия на ландшафты при эксплуатации нефтегазовых месторождений являются факельные установки открытого типа для сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ). По данным Всемирного банка, Россия занимает первое место в мире по объемам сжигания ПНГ (New Satellite Data..., 2017). Большое количество факельных установок продолжает функционировать несмотря на Постановление Правительства Российской Федерации №7 от 08.01.2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках», согласно

которому целевой показатель сжигания газа на 2012 и последующие годы не должен превышать 5% от общего объема его добычи (рис. 41).



*а*



*б*

Рисунок 41. Действующие факельные установки по сжиганию попутного нефтяного газа на Загорском (*а*) и Киндельском (*б*) месторождениях Оренбургской области.

Тепловое воздействие на ландшафты не приводит к быстрым последствиям, фиксируемым визуально, поэтому часто ему не уделяется должного внимания. Однако влияние высоких температур нельзя недооценивать: их длительное

воздействие изменяет циркуляционный режим атмосферы, способствуя учащению локальных и региональных климатических аномалий (Борисенков, 1982; Мартазинова, 2008). Сжигание ПНГ вредно не только с экологической, но и с экономической точки зрения. Существует множество вариантов реализации попутного газа, а упущенная выгода от каждого млрд м<sup>3</sup> газа, не вовлеченного в сферу переработки, составляет 270 млн долларов (Алексеева и др., 2015).

В Волго-Уральском степном регионе производится около 20% российской нефти (EIA, 2017), что влечет за собой значительные объемы утилизируемого ПНГ. Официальные данные нефтегазодобывающих компаний, как правило, не полностью учитывают все действующие факельные установки. Общедоступные данные дистанционного зондирования позволяют идентифицировать термоточки и осуществить качественный анализ теплового воздействия на ландшафты (Анејиону и др., 2015). Например, на ключевом участке №6 (часть Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения) выявлено 5 термоточек (рис. 42).

Вблизи действующих установок для сжигания ПНГ отмечается повышение температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы, выявленное как в ходе полевых данных, так и на основе тематической обработки тепловых каналов снимков Ландсат (Мячина, 2017). Обнаружено, что в вегетационный период температура может увеличиваться на 8° в радиусе от 30 до 350 м от источника распространения тепла (рис. 43).

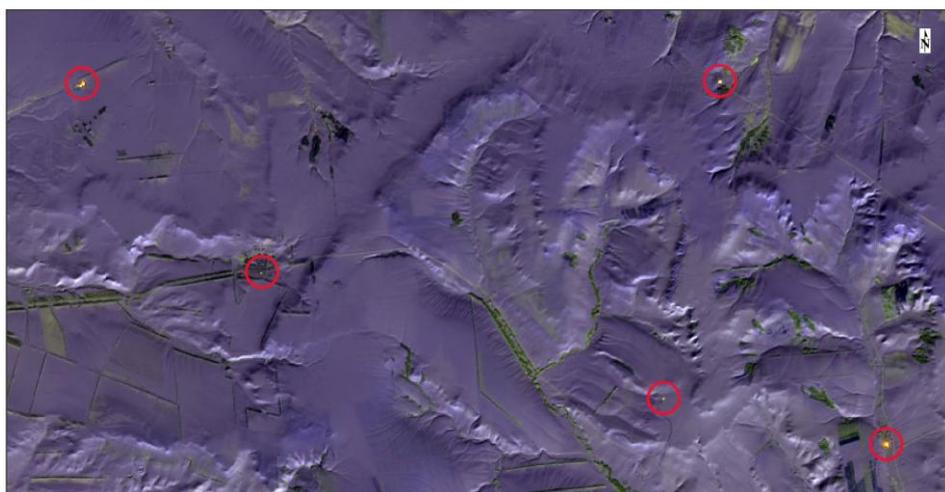


Рисунок 42. Сеть факельных установок для сжигания ПНГ на ключевом участке №6.

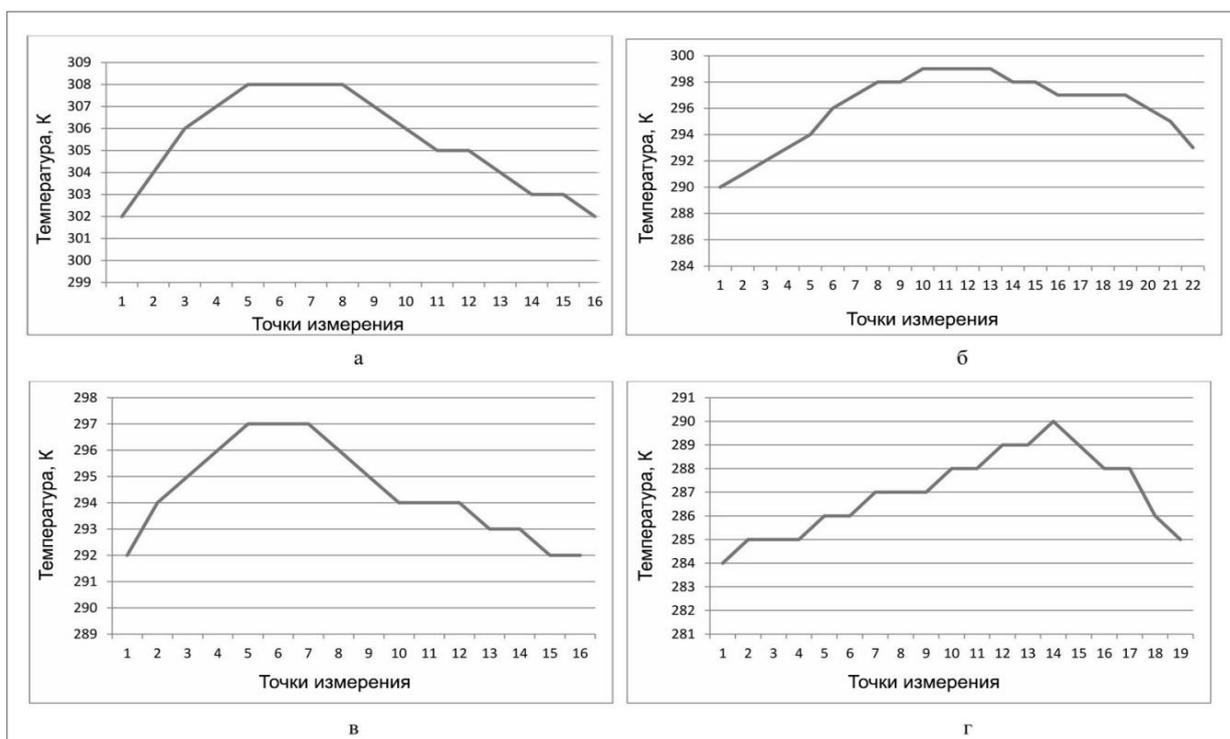


Рисунок 43. Температурные аномалии земной поверхности и приземного слоя атмосферы, выявленные в радиусе действия факельных установок для сжигания ПНГ в Волго-Уральском степном регионе по данным термоканалов спутника Ландсат. Расстояние между точками измерения составляет 1 пиксель (30 м). Источник тепла (факел) расположен в точке максимального значения температуры.

В условиях влажного экваториального климата с преобладанием густого лесного покрова радиус повышения температуры в зоне нагревания газовым факелом достигает 450 м (Ојех, 2012). Следовательно, в условиях степной зоны можно говорить о влиянии ряда специфических характеристик, формирующих рассеивающую способность атмосферы: низкой влажности, преобладании ветреной погоды над безветренной, отсутствии природно-географических рубежей рассеивания геохимических потоков.

Проведенные расчеты показали, что одна факельная установка в степной зоне приводит к повышению температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы в среднем на площади 0,085 км<sup>2</sup>, то есть при сжигании ПНГ на 100 установках возможно повышение температуры от 1° до 8° на площади более чем 8

км<sup>2</sup>. Формирующиеся в Волго-Уральском степном регионе «островки тепла» - прямой результат сжигания попутного нефтяного газа на месторождениях (Мячина, Чибилёв, 2020). Термин «островки тепла» (англ. «heat islands») широко используется для характеристики тепловых аномалий антропогенного происхождения (Ojeh, 2012). Несомненно, формирование и длительное функционирование подобных тепловых аномалий в районах нефтегазодобычи повышает фоновую температуру окружающей среды, что может быть выявлено в результате анализа долговременного ряда температурных данных, имеющихся на локальных метеостанциях.

Согласно некоторым данным, на одну тонну сгоревшего на факеле попутного нефтяного газа приходится в среднем 50-80 кг выбросов загрязняющих веществ (Васильев и др., 2004), основными из которых являются CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> и CH<sub>4</sub>, летучие органические соединения и полициклические ароматические углеводороды. На космических изображениях можно проследить размеры дымового шлейфа и площадь его рассеивания (рис. 44). Длина дымового шлейфа может достигать 11 км и рассеиваться на ширину до 3 км, покрывая площадь более чем в 30 км<sup>2</sup> по любому румбу, в зависимости от метеорологических условий в момент сжигания ПНГ и рельефа местности.

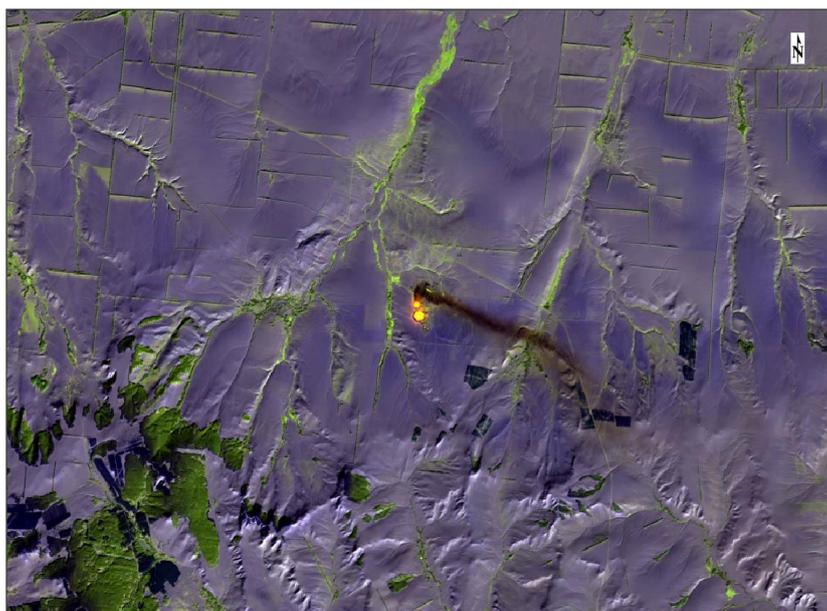


Рисунок 44. Дымовой шлейф от действующей факельной установки на ключевом участке №7.

В нефтегазодобывающих регионах обнаруживаются серьезные проблемы со здоровьем населения в связи с потреблением продуктов неполного сгорания ПНГ - летучих органических соединений и полициклических ароматических углеводородов (Kindzierski, 1999; Gobo и др., 2009). Эти поллютанты в составе газового шлейфа способны распространяться на обширные территории, значительно превышающие площадь теплового воздействия, в том числе, накапливаясь в сельскохозяйственных культурах (Dung и др., 2008), соседствующих с нефтегазовыми промыслами.

Сельхозпроизводители, ведущие сельскохозяйственные работы в зонах действия факельных установок, называют эти площади не иначе как «техногенными пустошами» и «потерянными землями». Однако будет ошибкой считать, что от масштабного сжигания попутного нефтяного газа страдают лишь те участки, непосредственно вблизи которых происходит сжигание газа. Структурные части географической оболочки повсеместно связаны между собой потоками вещества и энергии, и аэрозоли газовых выбросов распространяются далеко за пределы мест размещения факельных установок. Их кумулятивный эффект в конечном счете приобретает не только региональное, но и глобальное значение, сказываясь на состоянии географической оболочки в целом. Вряд ли случайностью является то, что в Оренбургской области в структуре первичной заболеваемости населения лидируют болезни органов дыхания (42,9%). Ежегодно растет удельный вес смертности от болезней этой группы. Кроме того, в многолетней динамике показатель первичной онкологической заболеваемости по области стабильно высок и превышает не только показатель по Приволжскому федеральному округу - в среднем на 10,2%, но и по Российской Федерации - в среднем на 11,2% (Государственный доклад..., 2018).

К сожалению, результаты ведомственного контроля за утилизацией ПНГ в России зачастую недостоверны, а уполномоченный общественный контроль отсутствует. Населению остается надеяться лишь на ответственность руководителей нефтегазодобывающих компаний и добросовестное исполнение своих обязанностей государственными контрольно-надзорными органами. При

отсутствии адекватных мер реагирования на многолетнюю практику сжигания ПНГ возрастает риск техногенной деградации ландшафтов с формированием очагов изменения микроклимата и снижением уровня жизни населения.

### **3.8. Динамика площади пашни в районах нефтегазодобычи**

Развитие деструктивных процессов, рассмотренных в разделах 3.1 – 3.7, часто влечет за собой потерю продуктивных сельскохозяйственных угодий: вывод этих земель из оборота и их забрасывание. «Заточенность» компаний-недропользователей преимущественно на извлечение финансовой выгоды, стремление максимизировать прибыль в ущерб геоэкологическому состоянию ландшафтов способствует возникновению подобных осложнений.

На фоне предпосылок к возникновению мирового дефицита продовольственных ресурсов выпадение из сельскохозяйственного оборота участков продуктивных земель является наиболее неоднозначным аспектом взаимодействия двух видов производств и расстановки приоритетов при использовании земель. Нефть и газ - важнейшие ресурсы, их добыча необходима и экономически обусловлена, что часто приводит к отводам под этот вид деятельности участков в границах любых категорий сельскохозяйственных угодий. Например, более 88% территории Оренбургской области отведено под земли сельскохозяйственного назначения, при этом треть этих земель находится в границах лицензионных участков под разведку и разработку нефтегазовых месторождений, что способствует созданию эффекта взаимопроникновения и взаимовлияния двух разнородных видов техногенной нагрузки (рис. 45).

Имеющиеся официальные данные за 2006 – 2018 гг. (Государственный доклад..., 2007; Государственный доклад..., 2010; Государственный доклад..., 2013; Государственный доклад..., 2016; Государственный доклад..., 2019) демонстрируют неторопливое, но устойчивое снижение общей площади земель сельскохозяйственного назначения по областям Волго-Уральского степного

региона при общей тенденции к росту земель промышленности и иного назначения (рис. 46).

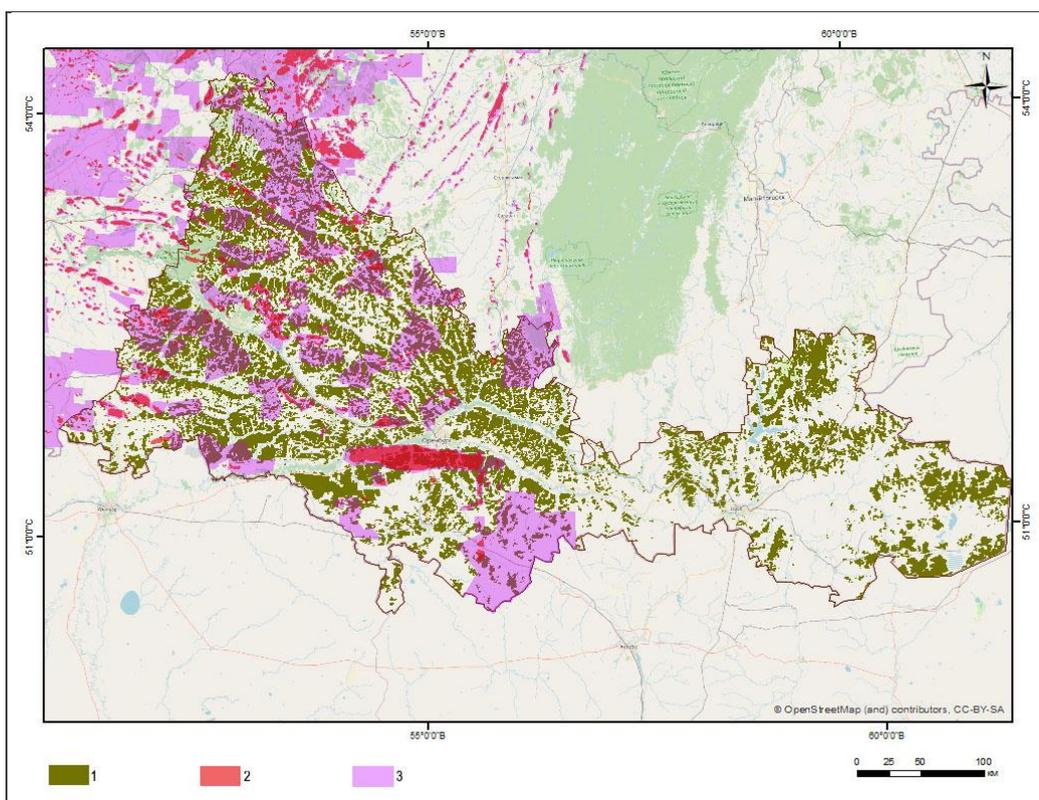
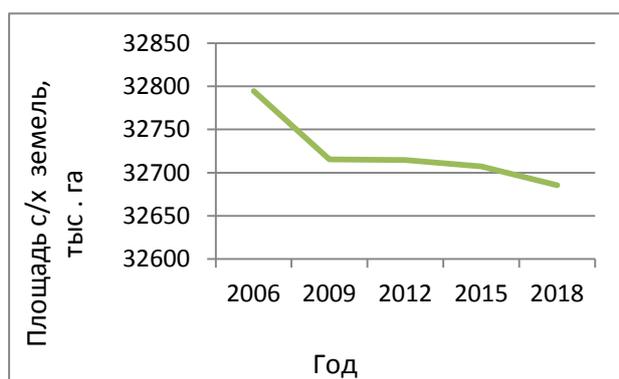
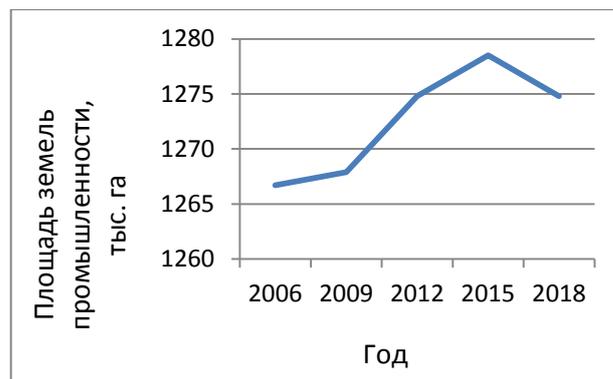


Рисунок 45. Взаимоналожение земель сельскохозяйственного назначения (1) (по данным Bartalev и др., 2016) и месторождений нефти и газа (2) в Оренбургской области: более трети сельскохозяйственных земель находятся в границах лицензионных участков под разведку и разработку нефтегазовых месторождений (3).



*а*



*б*

Рисунок 46. Снижение общей площади земель сельскохозяйственного назначения (*а*) и увеличение общей площади земель промышленности и иного назначения (*б*) в Волго-Уральском степном регионе.

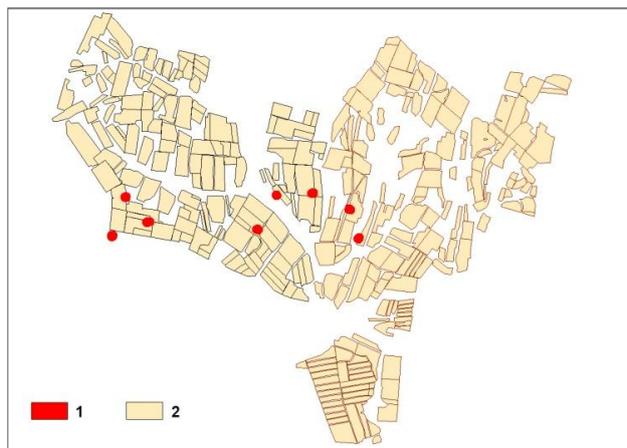
При этом наиболее остро стоит проблема потери действующих пахотных угодий. Выполнен анализ многолетней динамики площади пашен, расположенных в тесном соседстве с нефтегазовыми месторождениями, отличающимися длительным сроком разработки - с начала 50-х гг. на ключевом участке №5 (Мухановское, Дмитриевское) с начала 80-х гг. на ключевом участке №8 (Росташинское), с начала 90-х гг. на ключевом участке №11 (Боголюбовское, Кодяковское, Бaleyкинское) (подробнее см. Grudinina, Myachina, 2020).

Анализ динамики площади пашни включал в себя количественную оценку выпавших из сельскохозяйственного оборота полей и анализ связи пространственного размещения таких полей с локализацией объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры. Общий анализируемый период составил 40 лет – с 1980 по 2020 гг., при этом изменения оценивались на трех этапах: 1980-1987 гг., 1998-2005 гг., 2013-2020 гг. Для исследования использовался динамический ряд изображений спутников Ландсат, спорные моменты уточнялись по историческим картам Google Earth.

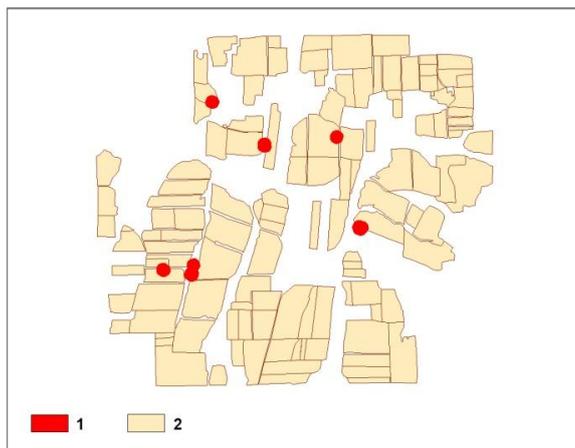
Максимальные значения площади пашни в границах ключевых участков были зафиксированы в интервале с 1980 по 1987 гг. На этом этапе начался интенсивный отвод земельных участков под недропользование для разработки месторождений. Наблюдается начальная стадия внедрения объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, которые располагаются в тесном соседстве с пахотными угодьями или в их границах. Площади, отведенные под объекты нефтегазодобывающей инфраструктуры, на тот момент были незначительны, расположены, преимущественно, вне распаханых земель и составляли 1% и 1,5% от общей площади участков соответственно (рис. 47).

Следующий рассматриваемый этап, с 1998 по 2005 гг., приходится на посткризисное для агропромышленного производства время, характеризующееся образованием фонда маловостребованных земель (Levykin et al, 2012). На ключевых участках наблюдается сокращение площадей распаханых земель в среднем на 23%, при этом площадь, задействованная под нефтегазодобычу, возрастает в диапазоне от 0,5 раз на староосвоенном месторождении ключ. уч-ка

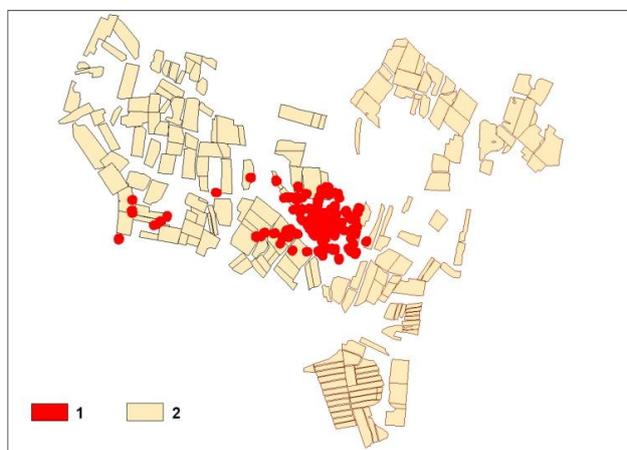
№5 до 8 раз на ключ. уч-ке №8, где месторождение находится на этапе наиболее интенсивной разработки.



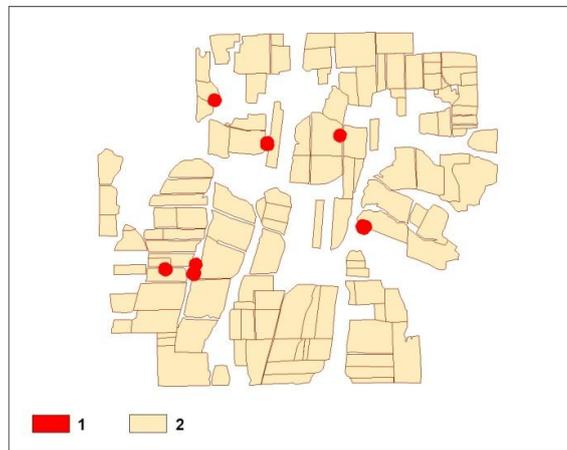
*Ключ. уч-к №8, 1980-1987 гг.*



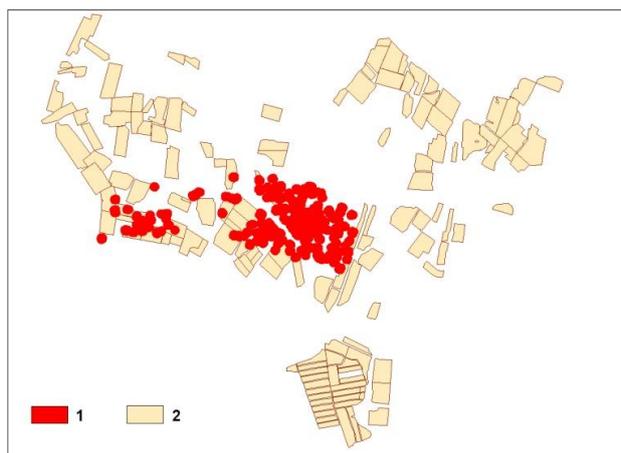
*Ключ. уч-к №11, 1980-1987 гг.*



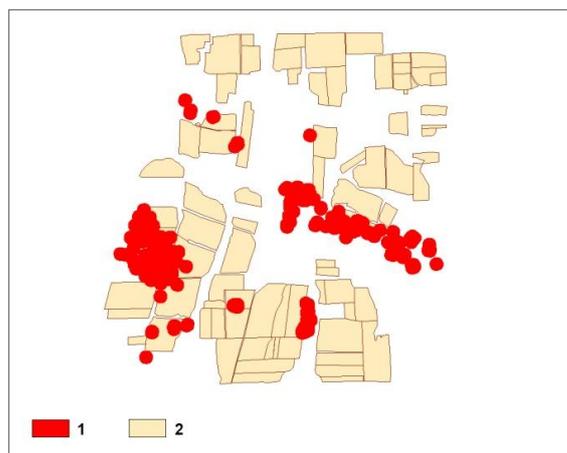
*Ключ. уч-к №8, 1998-2005 гг.*



*Ключ. уч-к №11, 1980-1987 гг.*



*Ключ. уч-к №8, 2013-2020 гг.*



*Ключ. уч-к №11, 1980-1987 гг.*

Рисунок 47. Визуализация снижения общей площади пашни и роста количества объектов нефтегазодобычи на ключевых участках №8 и №11, где 1 - площадки объектов нефтегазодобычи, 2 – используемые пашни.

Значительная доля нефтегазодобывающей инфраструктуры располагается в границах используемых пашен. Например, для участка №8 соотношение размещения скважин в границах классов «пашня»/ «залежь»/«иные территории» составляет 27% / 42% / 30%. На ключевом участке №11 площадь перекрытия площадок с объектами нефтегазодобычи и эксплуатируемых полей составила чуть более 5%, площадь перекрытия объектов нефтегазодобычи и залежей составила 7%.

Третий этап, с 2013 по 2020 гг., характеризуется максимальным ростом земель, выпавших из сельскохозяйственного оборота, а также площадей, отведенных под объекты нефтегазодобычи. Площади пашен на ключевых участках сократились в среднем на 40% по сравнению с таковыми в 80-е гг. (первый рассматриваемый этап) на фоне увеличения площадей, задействованных под нефтегазодобывающее природопользование, в диапазоне от 100 до 1000%.

Динамика соотношения общей площади образовавшихся на ключевых участках залежных земель с площадью залежных земель, содержащих объекты нефтегазопромислов и с общей площадью затронутых нефтегазодобычей земель представлена на рисунке 48.

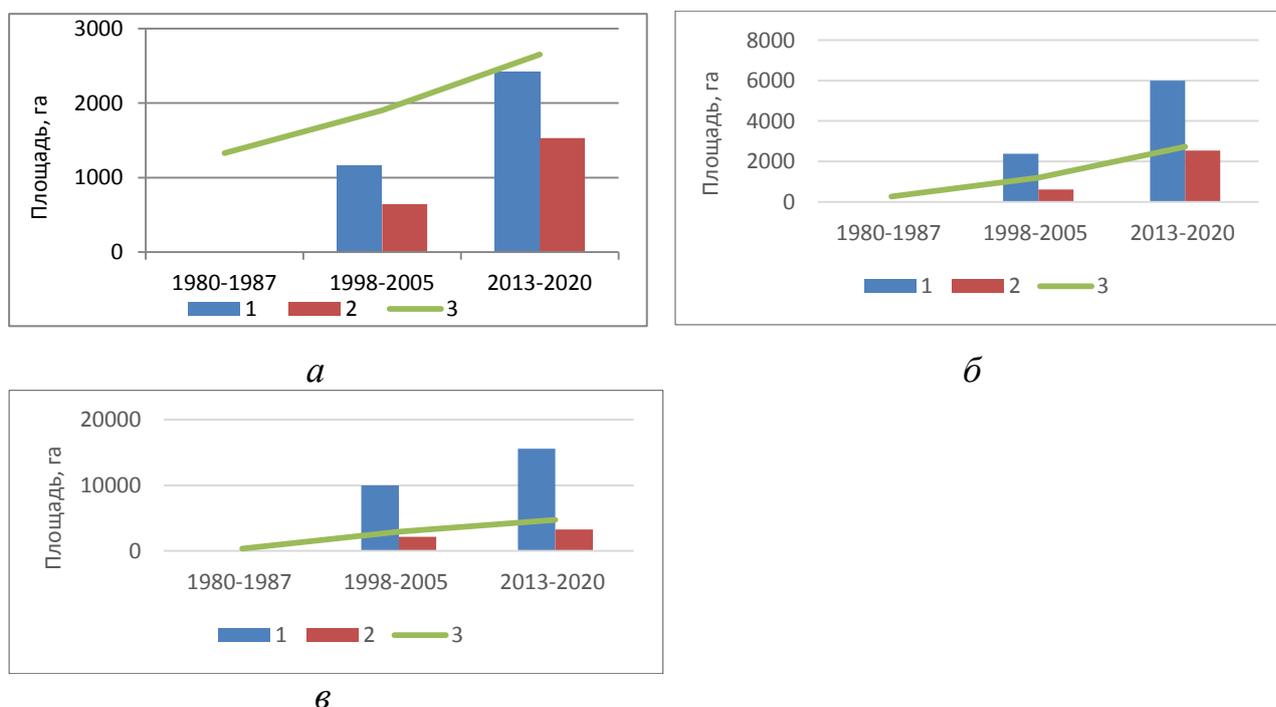


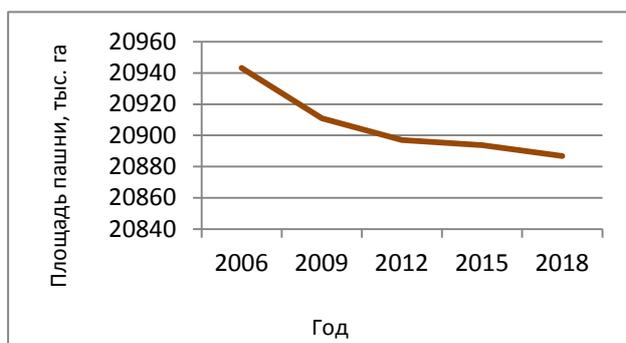
Рисунок 48. Рост площади залежных земель и площади под объектами нефтегазодобывающей инфраструктуры на ключевых участках №5 (а), №8 (б)

№11 (в) за анализируемые этапы периода 1980 - 2020 гг.: 1 – общая площадь залежей, 2 – площадь залежей с объектами нефтегазодобывающей инфраструктуры, 3 – общая площадь земель с объектами нефтегазодобывающей инфраструктуры.

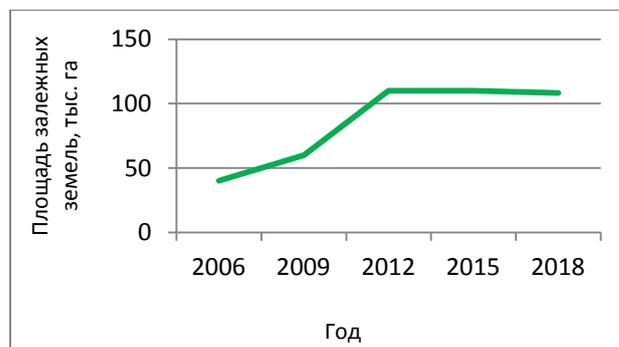
Графики на рис. 48 демонстрируют, что общая площадь образовавшихся на данный момент залежей состоит в среднем на 48% из заброшенных полей с объектами нефтегазодобывающей инфраструктуры (63% для ключ. уч-ка №5, 59% для ключ. уч-ка №8 и 21% для ключ. уч-ка №11). Несмотря на небольшой ряд данных, прослеживается корреляция между показателями площади земель, задействованных под нефтегазодобычу, и заброшенных пашен с объектами нефтегазодобычи (коэффициент корреляции  $r = 0,99$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,99$ ). Вероятно, существует некое среднее соотношение площади эксплуатируемого поля и площади земель, задействованных под нефтегазодобычу в его границах, при превышении которого максимизируется вероятность вывода поля из оборота (подробнее см. подгл. 5.2.4).

Полученные результаты согласуются с имеющимися официальными данными о соотношении типов земельных угодий в областях Волго-Уральского степного региона (Государственный доклад..., 2007; Государственный доклад..., 2010; Государственный доклад..., 2013; Государственный доклад..., 2016; Государственный доклад..., 2019). На основе суммирования данных по областям, входящим в регион исследования, построены графики динамики площади пахотных угодий и залежных земель (рис. 49).

Безусловно, причины забрасывания земель могут быть различными (Meufroidt et al., 2016), но агрессивное техногенное воздействие, распространяющееся значительно дальше ареалов непосредственного размещения объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, превращает, со слов местных сельхозтоваропроизводителей, расположенные поблизости от нефтегазопромыслов наделы в «бесполезные земли».



*а*



*б*

Рисунок 49. Устойчивое снижение площади пашни (*а*) и увеличение площади залежных земель (*б*) в Волго-Уральском степном регионе.

Подобные последствия не могут не играть роли при принятии решения землепользователем о дальнейшем развитии своего производства: забрасывании проблемных земель или продолжении их целевого использования.

### **Выводы по главе 3**

Основная тенденция техногенной трансформации ландшафтов Волго-Уральского степного региона – увеличение площади нарушенных земель за счет бесконтрольного расширения ареалов техногенного воздействия. Площади нарушенных земель могут достигать 5 км<sup>2</sup>/ 100 км<sup>2</sup>. Предложен метод распознавания нарушенных земель по зимним спутниковым изображениям, позволяющий осуществить диагностику класса нарушенных земель и выстроить долговременный динамический ряд нарушений. Ведущим индикатором техногенной трансформации ландшафтов является их фрагментация, имеющая максимальное значение в период наиболее интенсивной разработки месторождения: плотность фрагментов может возрастать более чем в 8 раз по сравнению с исходным ландшафтом.

Изменяется биоразнообразие: в районах с интенсивной нефтегазодобычей достоверно ниже средняя многолетняя численность индикаторных степных видов млекопитающих - сибирской косули, зайца-русака, сурка.

Функционирование нефтегазопромыслов катализирует проявления эрозионных процессов. В эрозионноопасных зонах размещены более 10% объектов нефтегазопромыслов. Объекты нефтегазопромыслов Волго-Уральского степного региона в 20% случаев размещены без учета геоэкологических рисков для водных объектов. Негативному воздействию подвергаются 78% водотоков.

Вблизи действующих факельных установок при сжигании попутного нефтяного газа происходит повышение температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы на 8° в радиусе от 30 до 350 м от источника распространения тепла. Длина дымового шлейфа может достигать 11 км и рассеиваться на ширину до 3 км, покрывая площадь более чем в 30 км<sup>2</sup> по любому румбу.

Сельскохозяйственные земли, находящиеся в зоне влияния нефтегазопромыслов, подвержены повышенному риску вывода из оборота – потери могут достигать 20% используемых под пашню участков.

## ГЛАВА 4. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОСИСТЕМА НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

### 4.1. Формирование природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения

Ход трансформационных процессов, происходящих при комплексном влиянии на ландшафты, укладывается в определенную типовую схему, обусловленную особенностями подходов к нефтегазодобыче и природно-климатическими характеристиками территории, predetermined географической зональностью. В блоках этой схемы отражены последствия, проявляющиеся наиболее активно и масштабно в процессе добычи нефти и газа (рис. 50).

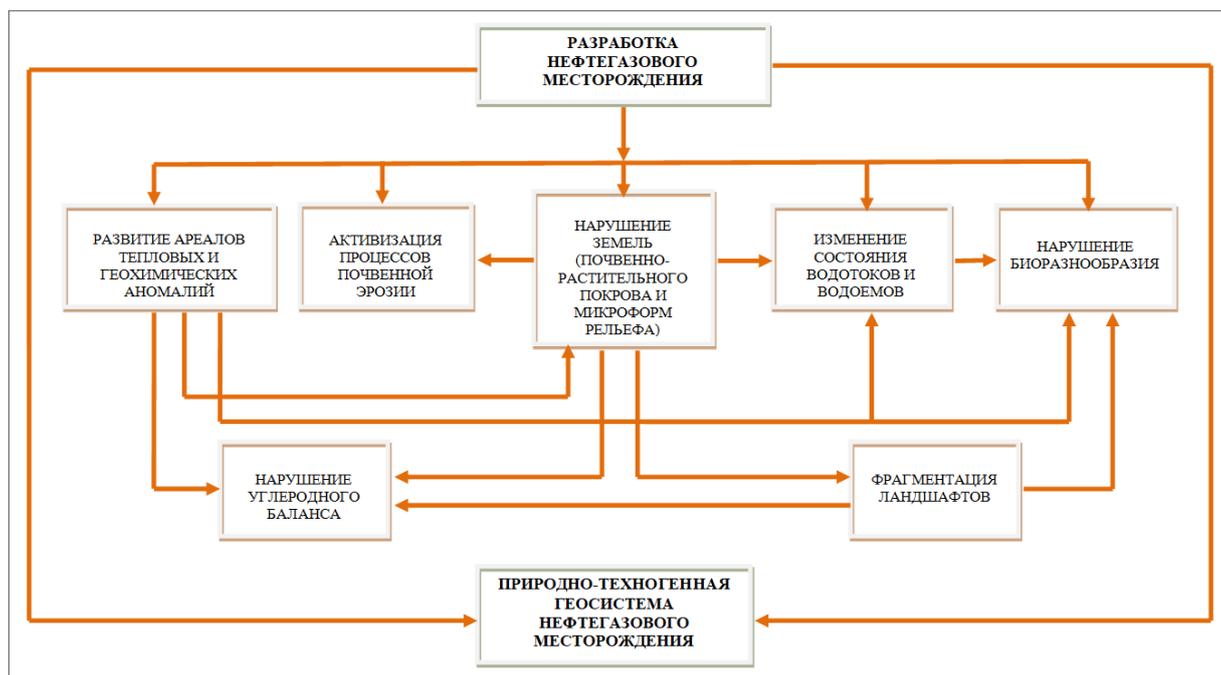


Рисунок 50. Факторы трансформации и условия формирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения (Мячина, 2020).

Каждый блок представленной схемы сам по себе не уникален - аналогичные последствия сопровождают и другие виды природопользования. Однако именно

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 воздействия (рис. 51).

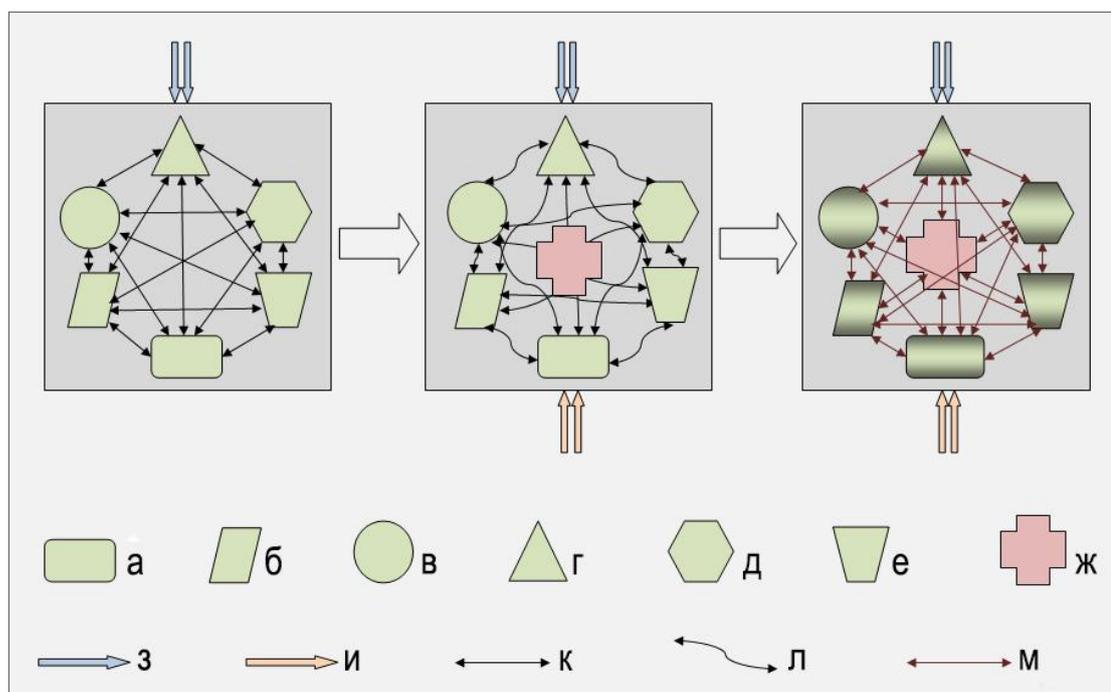


Рисунок 51. Принципиальная модель внутренних связей исходной структуры степного ландшафта, перестраиваемых формированием природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения: Компоненты исходного ландшафта новообразованной природно-техногенной геосистемы: а – морфолитогенная основа, б – почвы, в – растительный покров, г – воздушный компонент, д – водный компонент, е – животный мир (изменение окраски компонентов демонстрирует их трансформацию в ходе внедрения технического блока), ж – технический 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.

Происходит постепенное генерирование новых условий обитания – перемещение твердого вещества, изменение водного, теплового и геохимического режимов. Перестройка системы внутренних связей, возникновение обратных положительных связей как ответной реакции на антропогенное поступление и изъятие энергии и вещества приводит к разрушению исходной ландшафтной структуры. Формируется новая пространственно-временная система – природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения, являющаяся частной категорией техногенных геосистем (Мячина, 2019). 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.

Геосистема имеет право называться таковой при соблюдении трех условий: возможности выявить системообразующее начало, установить эмерджентные свойства, определить ее границы в географическом пространстве (Хорошев, 2016). За отправную точку выделения и изучения природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений приняты систематизированные источники и формы воздействия, схема и структура размещения объектов месторождений. Системообразующим началом выступает воздействие технических объектов нефтегазодобычи и вспомогательных процессов, ограничивающее, по мере своего внедрения, степень свободы функционирования компонентов исходного ландшафта. Типология ландшафтов и физико-географическое районирование в данном случае не привязаны к схемам размещения, а границы контуров техногенного обустройства и природных образований не сопоставимы.

## 4.2. Принципы функционирования

Для формирования и функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения представляются определяющими следующие принципиальные положения:

*1. Трансформация компонентов ландшафта в условиях нефтегазодобычи ведет к изменению вещественно-энергетических и геоинформационных связей его вертикальной и горизонтальной структур.*

Трансформация структуры ландшафтов природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения носит диффузный очагово-линейный характер, что приводит к формированию своеобразных агломераций, насыщенных многочисленными техническими элементами, хаотично распределенными по обширной территории. Диффузное очагово-линейное распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфическое пространство техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон воздействия объектов нефтегазодобывающего производства.

Воздействие на структуру ландшафта связано не только с непосредственным размещением объектов нефтегазодобычи, но и с формированием и интерференцией разнообразных геополей. Геополя, в основном, представляют собой геохимические ареалы рассеяния веществ, связанных с добычей углеводородов. При этом границы ПТГНМ не всегда совпадают с границами земельного отвода, их контуры чаще соответствуют нефтегазовым полям, концентрирующим основную инфраструктуру месторождения.

Иерархическая структура ПТГНМ определяется совокупностью и схемой размещения разнородных объектов нефтегазопромысловой инфраструктуры. За элементарные единицы ПТГНМ принимаются природно-техногенные «фации» (площадок по добыче нефти, дорожно-транспортных сетей, трубопроводов, ЛЭП и т.п.). Объекты нефтегазовой инфраструктуры в границах природно-техногенной фации или урочища образуют новый элемент природно-техногенной геосистемы -

источник сопряженного воздействия. Такое воздействие прослеживается либо в виде рядов трансформирующихся по цепочке урочищ (например, аварийная геоситуация с разливом нефти на водоразделе приводит к серии изменений в ряду нижележащих ландшафтно-геохимических фаций), либо в форме интерферирующих геополей, в центре которых расположены, например, буровые установки. Зоны нарушенных земель по мере освоения месторождения расширяются, а иногда смыкаются. Сети автомобильных дорог, трубопроводов и ЛЭП играют при этом связующую роль, объединяя ядра недропользования в единую техногенную сеть. Пространственно-временная информация ПТГНМ имеет несколько уровней организации - от простейшей информации, несомой природно-техногенной фацией, до статистически усредненной информации природно-техногенной геосистемы месторождения.

*2. Природно-техногенные геосистемы нефтегазовых месторождений характеризуются последовательными (временными) стадиями развития, определяемыми длительностью освоения месторождения и уровнем техногенной нагрузки на исходный ландшафт.*

Главная задача при построении динамического ряда измененных техногенным воздействием ландшафтов - выявление соответствующих стадий их нарушенности и режима воздействия, вызвавшего эти нарушения (Дончева, 1977). Поскольку невозможно собрать исходную информацию со всех существующих в степной зоне месторождений, методически правомерна экстраполяция множества локальных данных на всю совокупность ландшафтов со схожими характеристиками, на основе принципа масштабной инвариантности процессов самоорганизации и саморегуляции в природе и обществе (по: Дегтярев, Носов, Шпаков, 2012). Основное авторское допущение состоит в том, что закономерности пространственной и временной трансформации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи подобны таковым на ключевых участках исследования.

Схема, иллюстрирующая стадии существования ПТГНМ, в большинстве случаев, представляет собой совокупность этапов освоения месторождения,

насыщения его территории объектами инфраструктуры нефтегазопромысла, описывая степень вовлечения компонентов исходных ландшафтов в процесс трансформации (см. табл. 9 подгл. 3.1). Исчерпывающая характеристика каждой стадии в каждый момент времени невозможна, так как включает бесконечное количество переменных. Поэтому динамика структуры и уровня трансформации ландшафтов на каждой стадии ПТГНМ определяется рядом показателей, признанных в ходе исследования существенными: количеством площадок со скважинами и другими объектами месторождения, плотностью дорожно-транспортной сети (ДТС), площадью нарушенных земель, долей объектов, размещенных вблизи водотоков и водоемов (рис. 52).

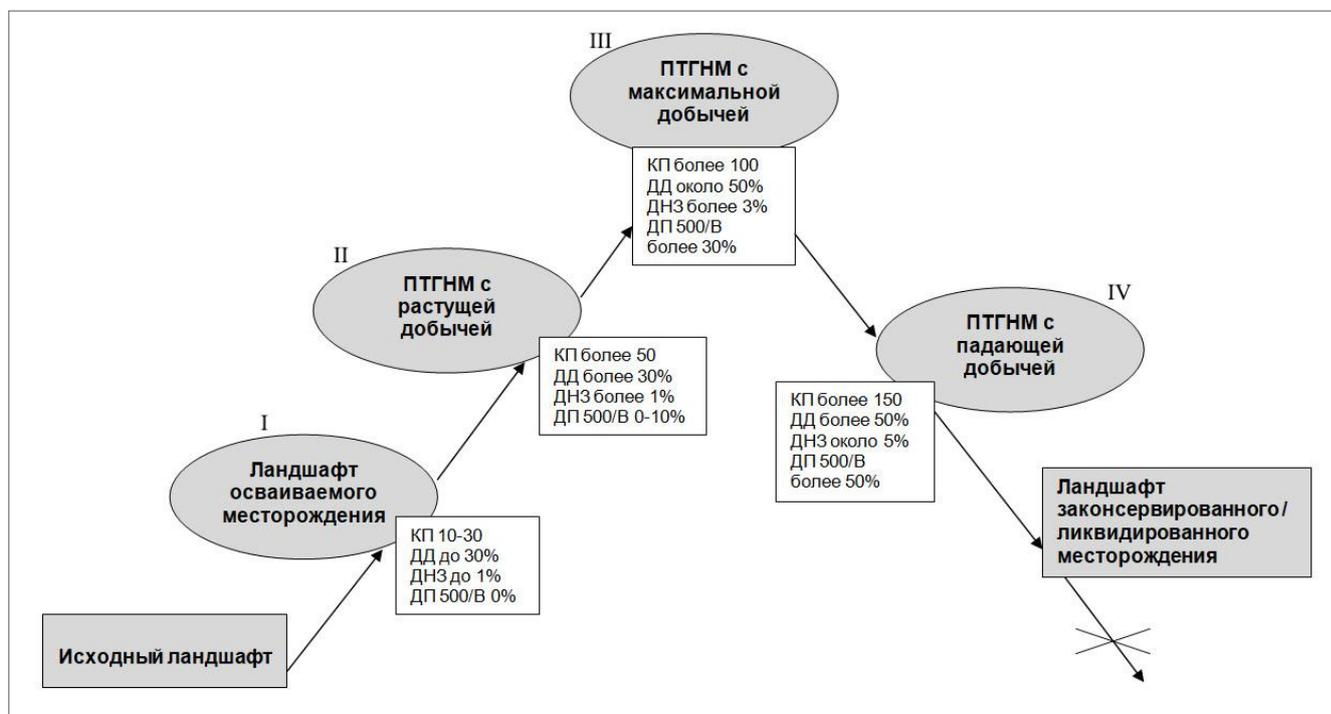


Рисунок 52. Стадии развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения: КП - количество площадок со скважинами и др. объектами, ДД - доля дорожной сети нефтегазопромысла в ее общей плотности на участке исследования; ДНЗ - доля нарушенных земель; ДП 500/В - доля площадок с объектами нефтегазопромысла, расположенных ближе 500 м от водотоков и водоемов.

Сравнительный анализ трансформационных процессов на ключевых участках позволяет выделить основные стадии развития ПТГНМ:

- ландшафт осваиваемого нефтегазового месторождения (I стадия),
- природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения с растущей добычей (II стадия),
- природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения с максимальной добычей (III стадия наибольшей трансформации),
- природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения с падающей добычей (IV стадия наибольшей трансформации и ее постепенного сокращения),
- посттехногенный ландшафт ликвидированного (законсервированного) месторождения (завершение активной техногенной нагрузки).

### **4.3. Основные характеристики и свойства**

Уровень техногенной трансформации ландшафтов зависит от длительности освоения месторождения - показатели трансформации варьируют, достигая максимума на третьей и четвертой стадиях техногенеза. Максимальное количество площадок с объектами нефтегазопромыслов фиксируется, как правило, на староосвоенных месторождениях. Высокие показатели плотности дорожной сети и фрагментации ландшафтов связаны со стадиями максимальной и, нередко, падающей добычи, когда истощение легкоизвлекаемых запасов углеводородов компенсируется нарастанием количества площадок с элементами инфраструктуры нефтегазопромыслов.

Значительная часть факторов и показателей трансформации взаимосвязима: рост плотности нефтегазовой дорожной сети связан с увеличением количества площадок с объектами, площадь нарушенных земель и фрагментация ландшафтов зависят от плотности инфраструктуры нефтегазопромысла, сохранение биоразнообразия связано со степенью фрагментации и другими факторами потери местообитаний, активизация экзогенных процессов, так или иначе, зависит от количества объектов,

размещенных на малопригодных, с геоэкологической точки зрения, участках и т.д. Наличие связей способствует объединению индивидуальных компонентов ландшафта - технических и техногенно-модифицированных природных – в отдельную природно-техногенную геосистему нефтегазового месторождения. Подобных компонентов и объединяющих процессов может быть множество на разных иерархических уровнях, что подтверждает иерархичность ПТГНМ и полимасштабность влияния и последствий.

Для расчета мер связи между переменными - характеристиками ПТГНМ использованы непараметрические меры корреляции. Между факторами и их количественными характеристиками, определяющими функционирование сложных систем, существует, как правило, стохастическая связь, представленная в общем виде уравнением:

$$Y_i = f(x_i) + e_i$$

где  $Y_i$  - расчетное значение результативного признака,

$f(x_i)$  - часть результативного признака, сформировавшаяся под воздействием учтенных известных факторных признаков,

$e_i$  - часть результативного признака, возникшая вследствие действия неконтролируемых или неучтенных факторов и/или случайных ошибок измерений факторных признаков.

В случае природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения показатели трансформации находятся в нефункциональной связи с факторами воздействия - например, годом начала разработки месторождения (рис. 53, табл. 14).

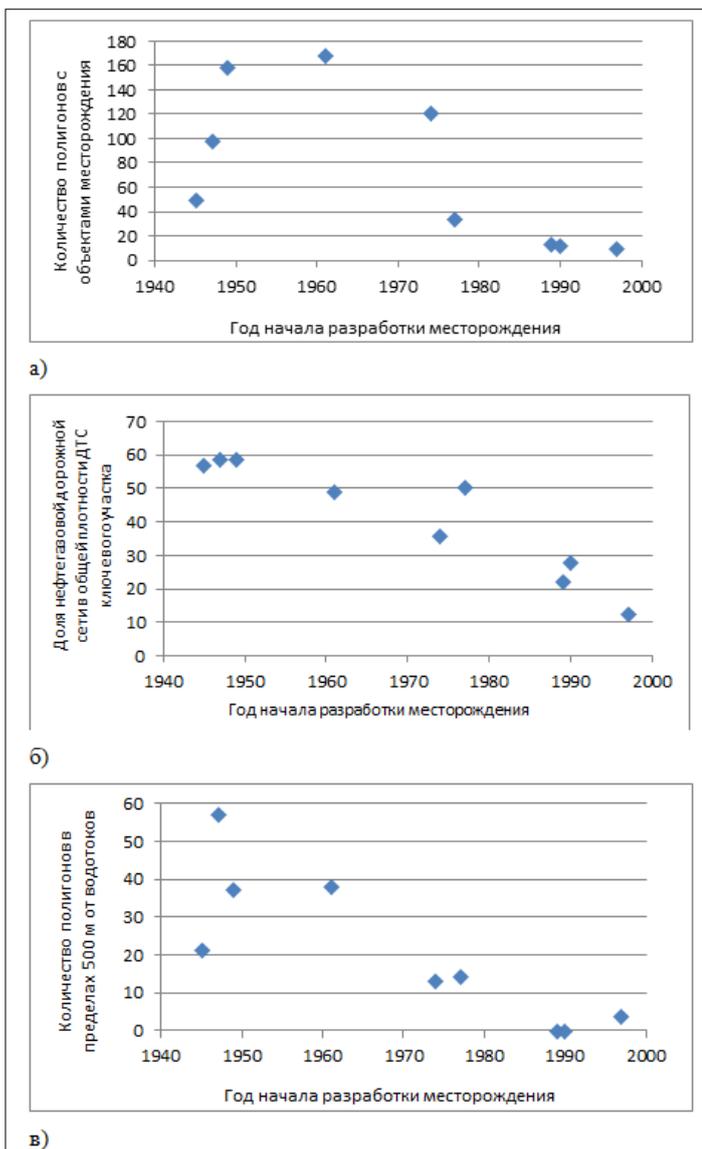


Рисунок 53. Графическое отображение характера корреляционных связей: а) числа площадок с объектами нефтегазопрмыслов ключевых участков с годом начала разработки месторождения, б) доли дорожной сети нефтегазопрмыслов с годом начала его разработки, в) количества площадок, расположенных в пределах 500 м от водных объектов, с годом начала разработки месторождения.

Таблица 14. Численные значения связей показателей техногенной трансформации исходных ландшафтов с годом начала разработки месторождений Волго-Уральского степного региона

Показатель трансформации ландшафтов	Показатель линейной корреляции Пирсона, r	коэффициент детерминации ( $R^2$ )
Количество площадок с объектами месторождения	-0,66	0,44
Плотность ДТС	-0,70	0,49
Доля плотности специализированных дорог месторождения в общей плотности ДТС	-0,93	0,87
Доля нарушенных земель	-0,88	0,77
Доля площадок с объектами, размещенных в 500 м от водоемов / водотоков	-0,84	0,71
Доля площадок с объектами на участках с уклоном рельефа более 3°	-0,23	0,05

Линейная корреляция (r) показателей трансформации ландшафта с началом разработки месторождения, близкая к -1, характеризует обратную взаимосвязь между величинами: сильную (значение r от -0,7 и менее), средней силы (r = -0,66), слабую (r = -0,23). Хотя корреляционные связи не всегда достаточно высоки, но вполне значимы. Отсутствие пропорциональной зависимости указывает на влияние и других факторов на развитие показателей трансформации. Значимость модели зависимости отчасти определяется значением коэффициента детерминации ( $R^2$ ). Чем выше значение  $R^2$ , тем модель более корректна в объяснении зависимости между сопоставляемыми параметрами. Так, зависимость доли нарушенных земель от длительности разработки месторождения составляет 77% ( $R^2 = 0,77$ ), а зависимость показателя доли нефтегазовых дорог на - 87% ( $R^2 = 0,87$ ).

В новейших исследованиях намечаются тенденции отказа от концепции статистической значимости в связи с тем, что статистически незначимый результат не «подтверждает» нулевую гипотезу об отсутствии влияния некоторого, даже слабого, фактора на конечные результаты (Amrhein и др., 2019). Поэтому из модели развития ПТГНМ в перспективе не будут исключаться показатели трансформации с низким значением коэффициента детерминации (например, доля площадок с объектами, расположенных на участках с уклоном

рельефа более 3°). Выявление даже таких общих тенденций зависимости трансформации ландшафтов от интенсивности проявления факторов воздействия имеет смысл, поскольку оно позволяет составить общее представление о закономерностях функционирования ПТГНМ.

Итак, каждая модификация природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения соответствует определенному уровню техногенного воздействия на структурную организацию исходного ландшафта и функционально-динамические связи между его компонентами. Как правило, на длительно разрабатываемых больших нефтегазоносных площадях сосуществуют все стадии развития природно-техногенной геосистемы, со смешением, взаимопроникновением, кумулятивной синергией сложных переплетающихся взаимодействий, различных по силе и эффективности.

Анализ стадийных смен ПТГНМ производился с учетом связи каждой стадии с исходным инвариантом. В некоторых случаях (незначительные и/или трудноизвлекаемые запасы, пространственно-географические особенности территории размещения, абсолютное соблюдение компанией-недропользователем экологических нормативов и требований) все стадии ПТГНМ при разработке месторождения могут не проявляться. Однако достижение завершающей модификации - ликвидированного (законсервированного) месторождения - является неизбежным и обязательным итогом при любом варианте развития недропользования. Независимо от длительности эксплуатации месторождения, глубины и многообразия техногенного воздействия, проводимых мероприятий по рекультивации нарушенных земель ландшафты выработанных и ликвидированных месторождений не возвращаются к своему исходному состоянию. Этому препятствует необратимо внедренный в исходную ландшафтную структуру технический блок - конструкции ликвидированных и/или законсервированных скважин. Речь идет о внедрении технического блока в первичные компоненты ландшафта - рельеф и твердый фундамент.

Изменение первичных компонентов ландшафта – это тот случай, когда процессы действительно необратимы (Исаченко, 1980). Возникает отдельный

ландшафтно-техногенный таксон небольшого ранга, свидетельствующий о невозвратном изменении морфологической структуры ландшафта, усложняется существующий набор морфологических единиц и рисунок их взаиморасположения, изменяется ход процессов соседствующих с ними комплексов (Мамай, 1992). Здесь прослеживается эквивиальность в прямой трактовке этого слова, то есть равнозначное, при любых условиях, завершение процесса нефтегазодобычи. В контексте необратимости значимы и остатки полуразрушенной инфраструктуры нефтегазопромыслов, и ряды сукцессионных ландшафтов, если считать необратимыми такие модификации ландшафтов, время существования которых превышает продолжительность жизни одного человеческого поколения (Преображенский, 1986).

Существует мнение, что возвращение степных геосистем после антропогенного воздействия в исходное состояние невозможно в принципе: некоторые апофитные и адвентивные виды растительных сообществ, поселившиеся в результате антропогенного воздействия, могут сохраняться в восстанавливающихся растительных ассоциациях неопределенно долго (Нечаева и др., 2004). Однако многие модификации ландшафтов могут казаться устойчивыми и необратимыми лишь потому, что период их восстановления не определяется длительностью жизни одного или даже двух поколений человека. Тем не менее, современные технологии нефтегазодобычи неизменно приводят к качественному изменению структуры исходного ландшафта, что подтверждает представленную смену природного инварианта природно-техногенным.

Анализ выявленных особенностей и закономерностей функционирования природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений можно завершить перечнем присущих им свойств. ПТГНМ обладают следующими свойствами:

*а) целостностью*, обеспеченной единством цели и функции. Целостность системы поддерживается посредством взаимных вещественно-энергетических и информационных связей ее элементов, в результате она приобретает новые (системные, эмерджентные) свойства, проявляющиеся на различных иерархических уровнях ПТГНМ и не сводимые к простой сумме свойств ее

элементов. Выявление эмерджентных свойств геосистемы, как правило, требует осмысления взаимовлияния элементов, учета их пространственно-временных отношений и связей, анализа реакции ландшафтов на внешние воздействия.

Примеры эмерджентных свойств:

- «локальный климат нефтегазопромысла» модифицируется в результате длительного функционирования факельных установок и масштабного уничтожения почвенно-растительного покрова. Систематическое длительное изменения количества поступающего тепла и влаги изменяет системные процессы и, возможно, даже зональную принадлежность ландшафта (Мамай, 1992);

- биологическое разнообразие, модифицируемое изменением популяций живых организмов в условиях потери условий обитания;

- сейсмическая активность, модифицируемая в результате снижения пластового давления в недрах месторождения и изменения гидродинамики в системах подземных вод;

- поверхностный сток с определенной степенью зарегулированности, возникшей в ходе изменений морфологии рельефа;

*б) иерархичностью* (соподчиненностью элементов системы);

*в) структурностью*, являющейся результатом упорядоченности пространственно-временной организации природно-техногенной геосистемы;

*г) устойчивостью* - тенденцией к сохранению своей структуры, внутренних и внешних связей. Устойчивость преднамеренно созданной природно-техногенной геосистемы поддерживается искусственным образом, так как требуется ее способность выполнять заданную социально-экономическую функцию;

*д) динамичностью* - способностью эволюционировать, развиваться во времени и пространстве. Динамичность сочетается с устойчивостью, как в любой природной системе;

*е) уникальностью*;

*ж) территориальностью* - возможностью определения условных пространственных границ природно-техногенной геосистемы и определяющейся

зависимостью ее формирования и функционирования от размещения относительно основополагающего начала (нефтегазовой залежи).

На основе представленной модели природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения открываются новые подходы к оптимизации ландшафтов в ходе нефтегазового природопользования. Руководствуясь наиболее практичным и эффективным подходом обеспечения комплексной геоэкологической безопасности территории – превентивным, необходимо каждую стадию развития ПТГНМ рассматривать индивидуально, как нуждающуюся в особом режиме регулирования, индивидуальной гибкой схеме природоохранных и восстановительных мероприятий, независимо от недропользователя научно-обоснованном геоэкологическом сопровождении.

#### **Выводы по главе 4**

В процессе нефтегазодобычи происходит многофакторная трансформация степных ландшафтов и формируются новые природно-техногенные геосистемы нефтегазового месторождения, обладающие собственными эмерджентными свойствами и полимасштабной структурой. Системообразующим началом выступает воздействие технических объектов нефтегазодобычи и вспомогательных процессов, ограничивающее, по мере своего внедрения, степень свободы функционирования компонентов исходного ландшафта. Хотя типология ландшафтов и физико-географическое районирование степной зоны в данном случае не соответствуют схемам размещения нефтегазопромислов, исходя из принципа инвариантности процессов в природе и обществе, их вполне возможно считать подобными и экстраполировать множественность показателей, выявленных на ключевых участках месторождений, на всю исследуемую совокупность месторождений.

Формирование и функционирование природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения определяется следующими принципами:

- трансформация ландшафта в условиях нефтегазодобычи ведет к значительному изменению вещественно-энергетических и геоинформационных связей его вертикальной и горизонтальной структур;
- природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения характеризуется последовательными стадиями развития, определяемыми длительностью освоения и уровнем техногенной нагрузки на исходный ландшафт.

Каждая стадия природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения соответствует определенному уровню техногенного воздействия на структурную организацию исходного ландшафта и функционально-динамические связи между его компонентами. В результате функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения эквивалентно (направленно) происходит смена природного ландшафта его природно-техногенным антиподом.

## ГЛАВА 5. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### 5.1. Стратегия оптимизации ландшафтов

#### 5.1.1. Проблематика оптимизации

Наш выдающийся соотечественник, академик В.И. Вернадский, предвидя современный «взрыв научной мысли» и связанные с ним глобальные изменения в биосфере, обращал внимание на то, что «человек должен понять, ... он не есть случайное, независимое от окружающего (биосферы или ноосферы) свободно действующее природное явление. Он составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение по крайней мере двух миллиардов лет» (Вернадский, 1977, с.19). По мнению В.И. Вернадского, господствующее положение, занятое *Homo sapiens faber* («человеком творящим») в биосфере, должно пойти на пользу всему живому на Земле, поскольку «его разум так велик по своим последствиям и возможностям» (Вернадский, 1977, с.42).

Приходится, однако, признать, что на данном этапе истории более чем семимиллиардная человеческая популяция в своих интересах разрушает и истощает среду обитания. Человек изобретательно пользуется ресурсами ландшафтов, производя колоссальное количество отходов и оставляя после себя техногенные пустоши. Мировое сообщество породило множество глобальных кризисов экологического, экономического и социального характера. По-видимому, на данный момент у человечества нет иного выбора, кроме выстраивания качественно новых отношений с природой, во главе угла которых - ее сохранение и восстановление на основе идеи более рационального природопользования и оптимизации ландшафтов, порой измененных до неузнаваемости.

Под оптимизацией ландшафтов автор понимает процессы регулирования их состояния для максимально возможного усиления природного потенциала и роли экосистемных услуг при заданных условиях природопользования. Задачей оптимизации является максимальное сохранение их экосистемных услуг. Тема ценности и оценки экосистемных услуг ландшафтов степной зоны подробно раскрыта в исследованиях А.А. Тишкова, который указывает, что степные ландшафты России способны обеспечить, по предварительным оценкам, 11,7% от общего объема потенциальных экосистемных услуг степного биома Земли (Тишков, 2005; Тишков, 2010). К основным экосистемным услугам природных и полуприродных ландшафтов степной зоны относятся обеспечение водой, сырьем, возможности рекреации, аккумуляция углерода, сохранение климата, поддержание биоразнообразия, ведение сельскохозяйственного производства. Без сомнения, процессы нефтегазодобычи способны привести к значительной утрате каждой позиции указанного перечня.

В идеале, любой вид природопользования нацелен на получение максимума продукции и прибыли при декларируемой значимости сохранения окружающей среды и обеспечении отсутствия противоречий в социально-экономической системе района или региона. Однако в совокупности эти цели практически несовместимы (Сысуев, 2015). Система обычно является оптимальной только для одной задачи или цели. Решение проблем, связанных с эколого-экономическими противоречиями любого вида хозяйственной деятельности, в том числе, нефтегазодобычи - одна из наиболее актуальных геоэкологических задач современности.

Как уже обсуждалось выше, к текущему моменту воздействие мирового нефтегазодобывающего производства достигло той стадии, когда во главу угла необходимо ставить сохранение окружающей среды в целях обеспечения существующим и будущим поколениям геоэкологически приемлемых условий существования. Поскольку не существует универсального решения, способного равнозначно удовлетворить все аспекты организации производства, разумно

использовать компромиссы, направленные, в итоге, на оптимизацию требуемых параметров.

Ориентация на максимум продукции (прибыли) требует готовности приносить значительные экологические жертвы. Напротив, приоритетность сохранения ландшафтов не способствует максимизации прибыли и продукции. В нашем случае приоритетной задачей является превалирование геоэкологического аспекта: геоэкологическая безопасность, исключение геоэкологических проблем.

Соответственно, оптимизация ландшафтов в ходе добычи нефти и газа в первую очередь потребует смены приоритетов с сугубо экономических на эколого-экономические, когда при планировании и ведении производственной деятельности первостепенными будут вопросы экологии и охраны ландшафтов. Экологизированное производство возможно лишь при переориентации общественных ценностей, изменении самосознания социума и взглядов на существующее общество потребления с его целями и установками. В свете происходящих мировых экологических катаклизмов именно этот вариант следует признать спасительным.

Условно оптимизация ландшафтов включает сохранение, восстановление, рациональную организацию ландшафтной структуры в ходе их использования. Каждое направление требует тщательной проработки с учетом специфики регионального и / или отраслевого природопользования. Однако есть и общие моменты. Например, лучшие результаты при сохранении ландшафтов можно получить, делая главный упор на предупредительный характер природоохранных мероприятий. Как обсуждалось выше (см. подгл. 1.1), набирает остроту проблема декоративной функции экологических разделов проектной документации – оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Более того, на Федеральном портале проектов нормативных правовых актов опубликован текст Постановления Правительства РФ, который с 1 января 2021 года лишает законной силы Положение об оценке намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду (О признании утратившими силу..., 2020). К чему приведет подобное решение – остается только догадываться.

Интересно, что претензии к качеству разделов ОВОС при проектировании объектов недропользования, сомнения в полезности и объективности этих разделов имеются и у заинтересованных лиц в других странах - например, в Бразилии, отличающейся маловыразительными показателями экономического развития (da Silva Dias и др., 2017). Противоположный опыт сочетания сырьевой экономики и более чем успешной природоохранной политики существует в Норвегии. Несмотря на десятилетнее падение объемов добычи нефти, экономика этой страны базируется на отраслях нефтедобычи - доля нефтяного сектора в ее экспорте достигает 40%. Политика рационального использования и охраны природных ресурсов в этой стране отличается систематическим научным обоснованием, ведущей ролью государства, многосторонним подходом к решению вопросов взаимосвязанного социо-экономико-экологического развития. Перед тем, как приступить к развитию нефтедобычи, норвежский парламент принял важнейший документ - «десять нефтяных заповедей», которые служат основой государственной нефтяной политики. Реализация этих заповедей привела к тому, что Норвегия на сегодняшний день - одна из самых привлекательных стран для проживания и мировой лидер в нефтяной промышленности (Природопользование..., 2014).

Безусловно, в проблемных нефтегазодобывающих регионах в первую очередь приходится отталкиваться от административных и экономических мер управления этой отраслью недропользования, которые были и остаются основными рычагами воздействия на компании – разработчики недр. Повышение платежей за негативное воздействие на ландшафты и размещение отходов; налоговое стимулирование предприятий, обеспечивающих экологически более чистое производство; поощрение разработок и внедрение новейших экологически ориентированных технологий освоения месторождений углеводородов - эти и другие меры подобного рода применяются в полном объеме. Тем не менее, на данный момент мы пока не ушли от ситуации, когда предприятию проще и выгоднее во всех отношениях заплатить за причиненный экологический ущерб, чем его предотвратить (Пузаченко, 2012). Исследуются и предлагаются варианты

экологического менеджмента, удовлетворяющие все заинтересованные стороны, которые, вероятно, приведут к улучшению геоэкологической ситуации. Например, деятельность по охране и рекультивации ландшафтов, минимизации геоэкологического вреда, оптимизации экологической составляющей производства уже возложена, в ряде случаев, на производственные компании. Существуют и альтернативные варианты - передача всех вышеперечисленных полномочий государственным службам, которые осуществляли бы необходимые мероприятия на деньги недропользователя.

Так или иначе, очевидно, что стандарты эффективности экологического менеджмента процессов нефтегазодобычи в проблемных регионах должны быть пересмотрены в сторону ужесточения. Существующие примеры управления некоторыми нефтегазодобывающими регионами в США показывают, что после внедрения единых высоких экологических стандартов и норм с ужесточением контроля за их исполнением снизились всесторонние показатели экологического ущерба, оказываемого компаниями-недропользователями (Kolowski, Alonso, 2010). Введение подобной жесткой стандартизации поможет упорядочить схему оценки и мониторинга окружающей среды и упростит процедуру отчетности. Уже на стадии проведения конкурсов и тендеров на осуществление нефтегазодобывающей деятельности необходимо отдавать предпочтение тем недропользователям, которые демонстрируют максимальную приверженность защите окружающей среды и учитывают инновационный мировой опыт в этой сфере.

Например, для канадской провинции Альберта, имеющей колоссальные запасы нефти и битуминозных песков, разработан научно-обоснованный подход к обустройству природопользования в ходе разработки месторождений. Предлагается на стадии планирования выделять в определенных пропорциях и поддерживать три зоны землепользования: интенсивную, где непосредственно осуществляется добыча, хозяйственную, где осуществляются иные виды хозяйственной деятельности и охраняемую, которая не будет подвержена никаким видам воздействия (Jordaan, 2012). Кроме того, на государственном

уровне разработаны правила, предписывающие компаниям, занимающимся добычей нефти и битуминозного песка, гарантировать финансовое обеспечение для будущей рекультивации в форме облигаций, размещенных в Фонде охраны окружающей среды. Интересен также опыт перепродажи прав на пользование землей между компаниями с помощью специального механизма ценообразования в случае, если компания-недропользователь использует меньше земли, чем было заявлено. Экономия земельных ресурсов может достигаться посредством перепланирования землепользования в ходе работ или применения современных экологических технологий.

В России новейшие мировые разработки в области экологической безопасности все шире применяются при добыче шельфовой нефти. Так, экологически ориентированные компании - ООО «Лукойл-КМН», «Газпром нефть шельф» - работают по принципу «нулевого сброса», утилизируя отходы современными методами, пуская часть из них во вторичное использование. В рамках этого принципа ведется непрерывный экологический мониторинг, включающий, в том числе, спутниковое наблюдение, использование ГИС-технологий, базы «Big Data» и пр. Все объекты оборудованы многоуровневыми системами обнаружения и предотвращения аварийных ситуаций. К сожалению, подобные высокотехнологичные подходы пока массово применяются лишь при разработке шельфовых месторождений.

Многообещающим является применение Стратегической экологической оценки (СЭО) для программы освоения нефтегазовых ресурсов. Стратегическая экологическая оценка (СЭО) — это оценка вероятных экологических и социально-экономических последствий реализации стратегических решений (планов, программ развития региона или отрасли). На примере Обско-Тазовской губы СЭО представляется первым шагом к комплексному геоэкологическому обоснованию развития нефтегазовой отрасли региона. Упреждающее проведение СЭО — методический инструмент, практически не используемый в России, однако уже более десятилетия активно развиваемый и внедряемый в европейских странах. Методология СЭО нацелена на сохранение природной составляющей

техногенно-трансформированных ландшафтов путем реализации мероприятий по двум направлениям: ликвидация последствий нанесенного экологического ущерба и, традиционно, применение превентивных мер по недопущению загрязнения и трансформации экосистем. СЭО должна осуществляться для региона или отрасли до того, как к практической деятельности на его территории приступят отдельные нефтегазодобывающие предприятия (Андреев и др., 2013).

Проблема контроля за соблюдением экологических требований и геоэкологической ситуацией может быть частично решена путем вовлечения в процесс местных жителей, заинтересованных в сохранности среды, снижении ущерба, сохранении традиционного природопользования. С одной стороны, это не будет являться чрезмерно затратным способом отслеживать ситуации в отдаленных нефтегазовых районах, с другой - это позволило бы снизить напряженность среди населения, обеспокоенного геоэкологическими последствиями производимых работ (Красноштанова, 2017).

### **5.1.2. Направления и принципы оптимизации**

Геосистемным подходом при разработке оптимизационных решений предусмотрен учет множества взаимодействий ландшафтных компонентов и возможных цепных реакций между ними при внешнем воздействии; учет эффектов дальнего действия «воздействие здесь - эффект там», учет специфических эффектов, возникающих при совместном влиянии группы факторов (Хорошев и др., 2019). Возникновение ответных реакций в ландшафте и перестройка исходных связей на любом уровне происходит в ходе воздействия техногенных потоков вещества и энергии. Принятие ПТГНМ дает возможность сформулировать основное направление оптимизации ландшафтов, то есть регулирования их состояния. Наиболее целесообразным представляется сокращение входящих материально-энергетических потоков техногенного происхождения - движущей силы возникновения геоэкологических проблем, что приведет к снижению устойчивости техногенной геосистемы и ослаблению ее эмерджентных свойств. При таком снижении первичные связи останутся более

устойчивыми, что позволит, в том числе, говорить о сохранении исходных ландшафтов. Нерастраченные в ходе природопользования экосистемные услуги могут служить показателями оптимизации.

Смягчение факторов трансформации хотя бы одного, а тем более - нескольких компонентов ландшафта позволит существенно снизить входной вещественно-энергетический сигнал техногенного происхождения. Так, согласно характеру корреляционных связей некоторых показателей трансформации ландшафта с годом начала разработки месторождения (см. рис. 53 подгл. 4.3), на длительно эксплуатируемых месторождениях необходимо регулирование несанкционированного роста плотности специализированных дорог месторождения, доли нарушенных земель, доли площадок с объектами, размещенных менее чем в 500 м от водотоков и водоемов.

Анализ и синтез явления полимасштабности позволяет, в свою очередь, допустить, что оптимизация иерархических рядов природно-техногенной геосистемы низких рангов приводит к повышению устойчивости в ней более высоких иерархических уровней, тем самым кризис (геоэкологическая проблема) переводится на микроуровень, затухает или смягчается (Казаков, 2012). Но, безусловно, продуктивнее, если объектами оптимизации выступают элементы иерархической структуры природно-техногенной геосистемы различного масштаба, связанные взаимодействиями компонентов и пространственных элементов.

Исходя из принципов функционирования геосистем и классических подходов к оптимизации природной среды (Мильков, 1973; Сочава, 1978; Исаченко, 1980; Чибилёв, 2016), автором предлагается ряд принципов оптимизации ландшафтов при разработке нефтегазовых месторождений (рис. 54):

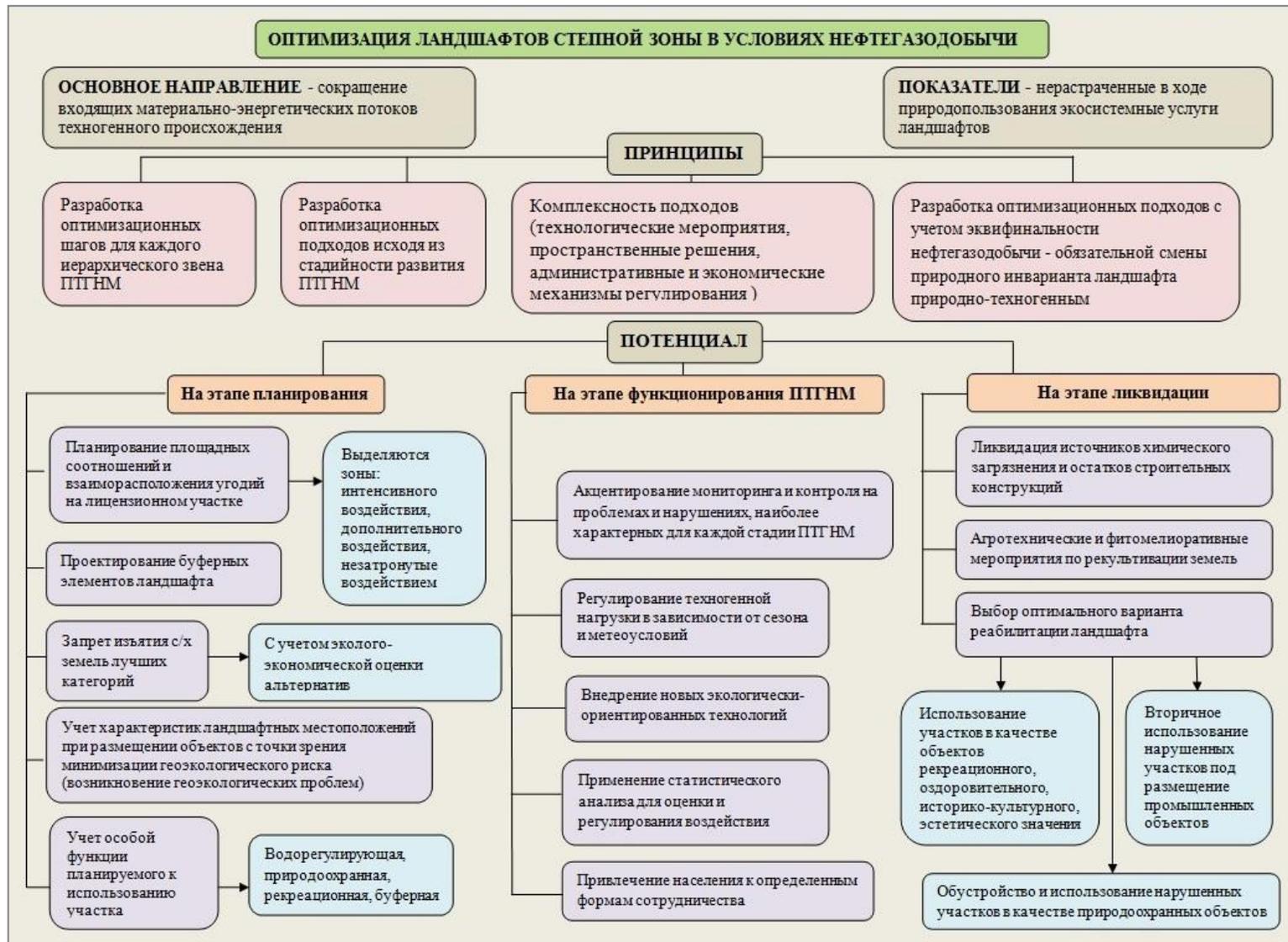


Рисунок 54. Основные принципы и потенциал оптимизации ландшафтов степной зоны на разных этапах нефтегазодобычи (Мячина, 2020).

1. Объектами оптимизации являются ландшафты иерархически соподчиненных единиц природно-техногенной геосистемы, представляющие в совокупности целостную природно-техногенную геосистему нефтегазового месторождения. При этом устойчивость иерархических единиц ПТГНМ различна, наиболее сложной и устойчивой является техногенная геосистема нефтегазового месторождения. Учитывая позиционно-динамическую структуру природно-техногенной геосистемы, оптимизационные решения, примененные на уровне ее любого иерархического звена, будут способствовать стабилизации геоэкологической ситуации на более высоких иерархических уровнях.

2. Оптимизационные решения целесообразно разрабатывать исходя из стадийности развития ПТГНМ. Целевой геоэкологический мониторинг на каждой стадии с выделением проблемных мест позволяет определить максимально результативные направления действий по перестройке схем природопользования, сохранению ландшафтов степей, минимизации ущерба и предотвращению появления геоэкологических проблем.

3. Нецелесообразно ограничиваться мерами, направленными на охрану отдельных ландшафтных компонентов, необходимо разрабатывать комплексные подходы к их защите и сохранению, включающие инновационные технологические мероприятия, пространственные (ландшафтные) решения, эколого-правовые административные и экономические механизмы регулирования.

4. Необходимо соотносить друг с другом региональные и глобальные эффекты воздействий, трансформирующих степные ландшафты. Локальные воздействия объектов распространяются за пределы природно-техногенной геосистемы и их невозможно полностью локализовать - как правило, границы любой геосистемы размыты (Трофимов и др., 2010).

5. В связи с невозможностью рекультивировать техногенно измененные ландшафты до исходного состояния наиболее оптимальным решением будет воссоздание квазинатуральных (имитационных, аналоговых) геосистем, по возможности максимально воссоздающих естественные условия, но несущих

назначенную им природоохранную или рекреационную нагрузку (оздоровительную, познавательную, спортивную и пр.). Такие рекультивированные геосистемы могут стать элементами благоустройства, типами общественного пространства в нефтегазодобывающих районах / регионах.

### **5.1.3 Этапы и стадии оптимизации**

С учетом стадийности и этапов развития нефтегазопромыслов разработаны блоки оптимизационных действий для этапов 1 - планирования нефтегазодобывающего природопользования в степной зоне, 2 - функционирования ПТГНМ (с учетом стадийности ее развития), 3 - окончания разработки месторождения/ликвидации объектов нефтегазодобычи (см. рис. 55).

Безусловно, наиболее полезным и результативным с точки зрения минимизации негативных геоэкологических последствий является этап планирования, подразумевающий осуществление предупредительных природоохранных шагов. На этапе планирования закладываются как перспективные технологические ходы, так и оптимальные пространственные (ландшафтные) решения.

#### *Этап планирования*

Хотя существует пространственная привязка объектов нефтегазодобычи к лицензионному участку, ограничивающая варианты их размещения, схема их расположения вполне может быть геоэкологически обоснованной. Исходя из специфики объектов (в подавляющем большинстве - точечных), наиболее логично применение правила ландшафтной адаптивности на основе оценки позиционных факторов. Одним из подходов к геоэкологически обоснованному размещению объектов может быть минимизация их присутствия в наиболее уязвимых ландшафтных местоположениях – например, на эрозионно-опасных склонах, что должно способствовать снижению геоэкологических рисков (подробнее см. подгл. 5.2.1). Однако при выборе местоположений объектов должны оцениваться и другие составляющие: альтернативное размещение может быть связано, например, с выведением из сельскохозяйственного оборота ценных угодий, что

противоречит существующим мнениям о необходимости законодательно ограничить отвод наиболее продуктивных земель для несельскохозяйственных нужд. Выделение такого неприкосновенного «элитного фонда» земель должно опираться на материалы качественной ландшафтно - мелиоративной оценки земель, а не просто бонитировки почв (Чибилёв, 2016). Подобная точка зрения приобретает все большую актуальность на фоне назревающего мирового дефицита сельскохозяйственной продукции и отвечает современным социо-экономико-экологическим вызовам. Для Оренбургской области силами специалистов Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН выполнено подобное экспертное ранжирование почв по степени их сельскохозяйственной ценности с учетом ряда факторов (д.б.н. Курганова И.Н.). Более половины месторождений нефти и газа области расположены в зоне наиболее ценных сельскохозяйственных земель (рис. 55).

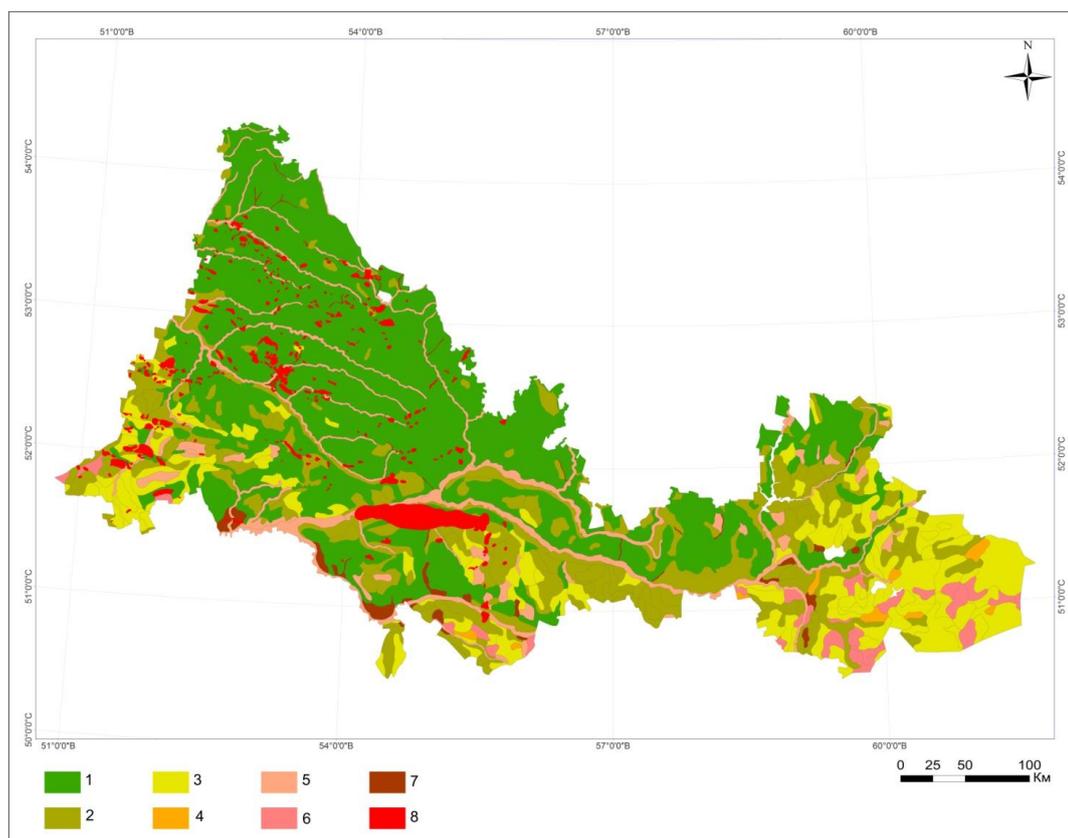


Рисунок 55. Преобладание нефтегазовых месторождений в зоне наиболее ценных сельскохозяйственных земель: 1...7 - ранги ценности

сельскохозяйственных земель, где 1 - наиболее ценные угодья, 7 - наименее ценные; 8 - месторождения нефти и газа.

О минимизации воздействия можно вести речь лишь с точки зрения утраты определенной ландшафтной функции (экосистемной услуги), что предполагает неоднозначный подход к оценке устойчивости ландшафтов. Как обсуждалось ранее (см. подгл. 2.5), достаточно сложно выполнить интегральную оценку ландшафтного местоположения для планирования техногенного воздействия – оценка будет меняться в зависимости от вида природопользования. Кроме того, важно оценивать связи с соседними ландшафтными единицами во избежание нежелательных или блокирования желательных латеральных потоков воздушных, водных и минеральных масс.

Ландшафтное планирование наиболее целесообразно начинать с выявления тех участков, которые не должны быть нарушены или подвергнуты техногенному воздействию (Хорошев, 2016). Это могут быть редкие или уникальные урочища, возможно, даже с не подкрепленным нормативной базой статусом, а лишь рекомендованные научно-исследовательскими организациями к охране; исторически сложившиеся локальные рекреационные зоны; стабилизирующие (буферные) элементы ландшафта. Перспективно также планирование взаиморазмещения и соотношения угодий с различными типами землепользования относительно естественных ландшафтов, что позволит избежать стихийно сложившейся планировочной структуры.

О соотношениях площадей нарушенных и ненарушенных нефтегазодобычей земель можно говорить как в масштабах природно-техногенной геосистемы одного месторождения, так и в масштабах района или региона. Идеи оптимальных пропорций угодий различного назначения, нарушенных и ненарушенных земель давно и активно обсуждаются в научном сообществе: еще В.В. Докучаев в 1936 г. писал о необходимости выработки норм, определяющих относительные площади «пашни, лугов, леса и воды; такие нормы, конечно, должны быть соображены с местными климатическими, грунтовыми и

почвенными условиями, а равно и с характером господствующей сельскохозяйственной культуры» (цит. по: Чибилёв, 2016). В то же время, автор полностью солидаризируется с позицией А.Ю. Ретеюма, согласно которой, при проблеме выбора типа организации пространства в локальном и региональном масштабах «заранее обречены на неудачу попытки определения единых норм плотности технических сооружений на единицу площади земной поверхности, установления естественных пределов емкости территорий, точно так же, как и попытки выяснения пригодной «для всех случаев» оптимальной доли естественных ландшафтов» (Ретеюм, 1981). Помимо взаиморазмещения и соотношения угодий имеют значение такие факторы, как тип планируемых к размещению объектов (это может быть как скважина, так и мини-завод по первичной переработке нефти), показатель фрагментации окружающих ландшафтов, уклон рельефа, качество почвенно-растительного покрова, водообеспеченность территории, тип использования близлежащих сельскохозяйственных наделов и пр. Соответственно, каждый случай планирования, все его виды и варианты должны рассматриваться индивидуально, с учетом множества факторов и привлечением профильных специалистов.

### *Этап функционирования ПТГНМ*

Наиболее важным результатом выявления стадийности развития техногенной геосистемы нефтегазового месторождения является перспектива целенаправленного регулирования тех проблемных геоэкологических моментов, которые характерны для стадий развития природно-техногенной геосистемы. Так, на стадии растущей добычи начинается расширение дорожно-транспортной сети, увеличивается ее густота за счет образования стихийных дорог – соответственно, необходимо сделать акцент на отслеживании именно этих ситуаций. На стадии максимальной добычи значительно возрастает количество объектов, расположенных ближе 500 м от водотоков и водоемов, поэтому особое внимание должно быть направлено на водоохранную деятельность недропользователя.

Эффективными на этапе функционирования ПТГНМ могут являться следующие шаги:

- регулирование техногенной нагрузки в зависимости от сезона и метеоусловий:

- а - ограничение и/или запрет на движение строительной техники весной и осенью в период распутицы, поскольку уплотнение почвы, вызванное давлением машин, зависит от ее влажности;

- б - гашение факельных установок при ветреной (в низинах - наоборот, безветренной) погоде;

- в - запрет на любые технические работы, связанные с возможными утечками химических реагентов и нефтепродуктов, в период паводка и половодья;

- управление латеральными вещественно-энергетическими потоками - создание/регулирование буферных элементов ландшафта и специализированных технических сооружений. Например, для защиты водоемов от загрязнения со стороны водоразделов можно размещать на пути загрязненных вод установки совмещенного вертикального и горизонтального дренажа, с обустройством емкостей для сбора загрязненных вод (Безродный, 2009);

- применение технологических решений по минимизации полей загрязнения: концепция нулевого сброса - внедрение малоотходной технологии строительства скважин с целью перевода отходов из категории загрязнителей во вторично используемый материал в других видах хозяйственной деятельности - рецикл. Например, полив сельскохозяйственных культур буровой сточной водой (после подтверждения ее нетоксичности) приводит к повышению урожайности на степных почвах (Безродный, 2009). Внедрение непрерывного масштабного экологического мониторинга, в том числе спутникового наблюдения;

- пространственная дифференциация техногенного воздействия для его последующего регулирования (подробнее см. подгл. 5.2.3).

#### *Этап ликвидации объектов нефтегазодобычи*

В перечень обязательных первичных рекультивационных действий недропользователя должны входить:

- ликвидация потенциально-активных источников геохимического загрязнения,

- очистка территории нефтегазопромысла от остатков инфраструктуры, отходов производства и потребления,

- биологический этап рекультивации, включающий площадную обработку нарушенных земель специальными смесями, исключающими «выдавливание» на поверхность из утилизируемых амбаров солевых и других растворов (Антипов и др., 2004).

Необходима классификация нарушенных земель для выбора оптимального способа реабилитации и дальнейшего использования ландшафтов, которое зависит от пространственно-географической специфики местоположения, хозяйственной или иной ценности земельного участка, глубины техногенных нарушений. Наиболее реалистичными вариантами реабилитации могут стать:

- вторичное использование нарушенных земель под промышленные объекты – например, под размещение других источников производства энергии - ветровых генераторов или солнечных батарей, что существенно снизит площадь новых нарушений. Активное внедрение подобных альтернативных источников энергии в Оренбургской области указывает на перспективность такого подхода;

- обустройство и использование рекультивированных ландшафтов в качестве объектов, имеющих рекреационное, оздоровительное, историко-культурное, эстетическое и иное социально ценное значение. Однако подобное использование нарушенных земель прежде всего зависит от их пространственно-географического положения и особенностей социального развития района: близости вновь созданных объектов к населенным пунктам, вероятности стать «центрами притяжения» для населения, востребованности объектов такого рода и пр.;

- обустройство и использование нарушенных земель как природоохранных объектов. С помощью экологической реставрации возможно создание квазинатуральных (имитационных, аналоговых) ландшафтов, выполняющих

природоохранные функции зональных фитоценозов, биогеоценозов, иных участков сходного назначения.

Для научно-методического сопровождения вышеперечисленных оптимизационных решений, выявления реальных и потенциальных геоэкологических рисков необходима постановка фундаментальных и прикладных научных исследований, результаты которых должны быть полностью прозрачны и доступны заинтересованной общественности. Только независимая от компаний - недропользователей геоэкологическая экспертиза в сочетании с усилением профессионального контроля за текущими сценариями природопользования будут способствовать сохранению и восстановлению степных ландшафтов. С этой целью в нефтегазодобывающих регионах должны создаваться научно-консультативные группы выполнения и сопровождения указанных исследований, систематического мониторинга геоэкологической ситуации, выработки перспективных проектов и их реализации на условиях государственно-частного партнерства.

В сегодняшней ситуации техногенная деградация ландшафтов Волго-Уральского степного региона практически неуправляема. При этом следует подчеркнуть, что снижение техногенной нагрузки на ландшафты, ее контроль и регулирование - не столько проблема научных разработок и достижений в области экологических технологий, сколько состояния общественного самосознания и расстановки приоритетов органами управления. Разрабатываемые методы предотвращения и снижения нагрузки, восстановления степных ландшафтов могут обернуться желаемым эффектом только в результате реализации целенаправленной комплексной политики экологизации образования и воспитания населения и соответствующей смены общественных приоритетов, что обеспечит действенность сопряженных подходов к оптимизации ландшафтов.

#### **5.1.4. Сценарии развития геоэкологической ситуации**

Одним из важнейших инструментов оптимизации степных ландшафтов является разработка прогнозных сценариев развития геоэкологической ситуации в

условиях техногенного воздействия. Существует множество методов построения прогнозных сценариев, которые можно в общем виде разделить на три группы: экстраполяция, моделирование, экспертиза (Кочуров, 2005). Как правило, удобным вариантом является использование совокупности этих методов, взаимодополняющих друг друга, что позволяет получить более объективные результаты.

Выявленные характеристики и закономерности трансформации ландшафтов являются основой прогнозирования дальнейшего развития геоэкологической ситуации в зоне влияния природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, в том числе на региональном уровне. Опираясь на имеющуюся информацию о текущем воздействии, возможны и выполняются разработки прогнозных сценариев состояния ландшафтов, трансформируемых в ходе нефтегазодобычи (Pierre и др., 2020). Представим два среднесрочных (5-10 лет) региональных сценария: 1 – ситуация развивается аналогично текущей, без внедрения методов оптимизации и решения возникающих геоэкологических проблем; 2 – в течение очерченного периода реализуется основная часть оптимизационных подходов, позволяя добиться вполне достижимого (на примере других стран и регионов) и сравнительно низкого уровня трансформации ландшафтных компонентов. Во втором случае речь идет уже, скорее, о геоэкологическом проектировании, нацеленном на определенный результат.

В качестве примера рассмотрим такие показатели, как площадь нарушенных земель и образование очагов газохимических аномалий, формирующихся при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках. В случае сохранения существующего подхода к природопользованию при разработке нефтегазовых месторождений допустимо предположение, что на каждом эксплуатируемом месторождении на 100 км<sup>2</sup> лицензионного участка будет приходиться 5 км<sup>2</sup> нарушенных земель. Таким образом, на территории Волго-Уральского степного региона общей площадью более 630 000 км<sup>2</sup> площадь нарушенных земель в определенный момент составит около 15 000 км<sup>2</sup> - 2,3% общей площади региона. Помимо этого, продолжают функционирование 162

факельные установки для сжигания ПНГ (Elvidge и др., 2016), создающие очаги газохимических аномалий общей площадью более 60 000 км<sup>2</sup> - 10% общей площади региона (рис. 56).

Однако возможно и иное развитие ситуации. При внедрении предложенного ряда оптимизационных решений возможно снижение площади нарушенных земель до вполне реалистичных значений - 1–2% на каждые 100 км<sup>2</sup> лицензионного участка. В этом случае площадь нарушенных земель в регионе исследования составит около 3000 км<sup>2</sup> - менее половины процента от общей площади региона. Кроме того, выполнение компаниями – разработчиками недр плана по доведению утилизации ПНГ до 75% вместо имеющих место 20-30% снизит количество действующих факельных установок и площадь образуемых газохимических аномалий более чем в 10 раз (рис. 57).

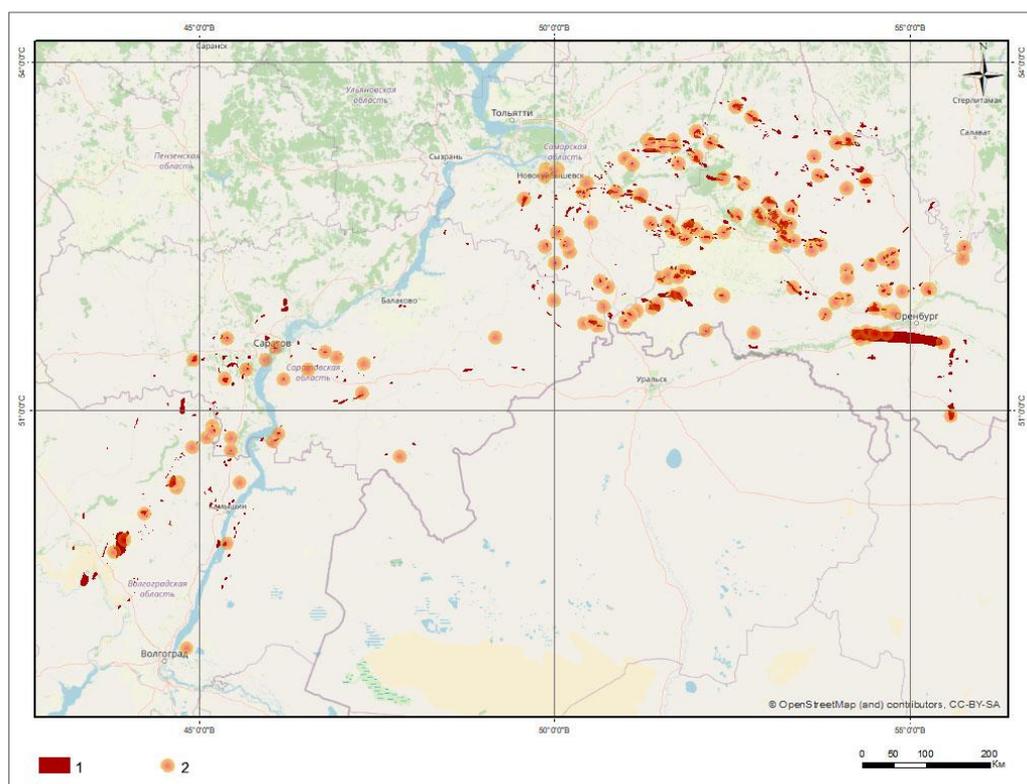


Рисунок 56. Прогнозируемая геоэкологическая ситуация в Волго-Уральском степном регионе при сохранении текущих подходов к природопользованию: 1 – нарушенные земли, 2 – газохимические аномалии.

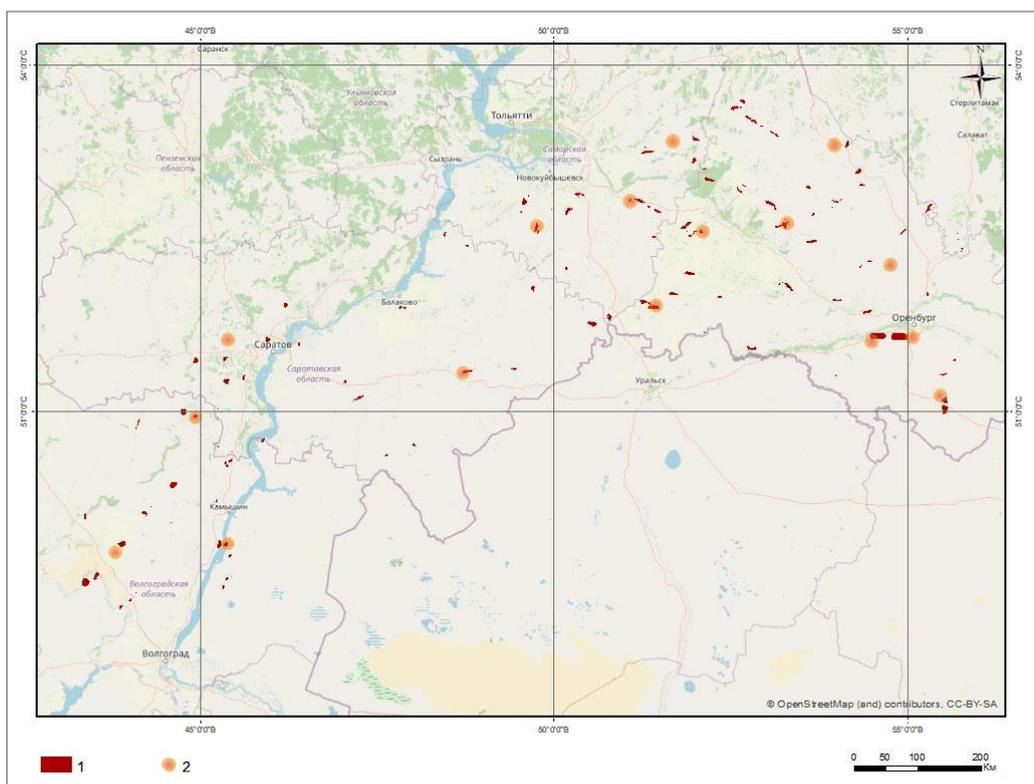


Рисунок 57. Прогнозируемая геоэкологическая ситуация в Волго-Уральском степном регионе при внедрении оптимизационных подходов по сокращению площади нарушенных земель и количества факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа: 1 – нарушенные земли, 2 – газохимические аномалии.

По аналогии с двумя вышеприведенными примерами, с учетом выявленных в гл. 3, 4 зависимостей и корреляций выполнен анализ значений показателей техногенной трансформации для двух прогнозных сценариев дальнейшего развития нефтегазодобывающего природопользования в Волго-Уральском степном регионе (рис. 58).

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 ОБРАЖНОЙ 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 58. Прогнозные показатели трансформации ландшафтов Волго-Уральского степного региона при реализации различных сценариев нефтегазодобывающего природопользования.

Даже частичное внедрение предлагаемых оптимизационных решений способно снизить техногенные вещественные и энергетические потоки, поступающие в исходную степную геосистему, снижая уровень изменения ее энтропии и уменьшая риск возникновения геоэкологических проблем. Предлагаемые решения не изменят эквивиальности процессов нефтегазодобычи, но помогут в сохранении экосистемных услуг ландшафтов и сокращении «зон нефтяного геоэкологического наследия».

## 5.2. Практические возможности оптимизации

### 5.2.1. Классификация ландшафтных местоположений по степени приоритетности для размещения объектов нефтегазопромыслов

Обоснованием для пространственной координации технических объектов нефтегазопромыслов может служить подход, основанный на ранжировании ландшафтных местоположений с точки зрения геоэкологической приоритетности для размещения точечных производственных объектов - например, минимизации эрозии почв. Предлагается оценивать приоритетность участков для размещения объектов нефтегазопромыслов с использованием ГИС путем интегрального картографического анализа, с выполнением комплексной оценки местоположений на основе ряда геолого-геоморфологических, пространственных и иных оценочных показателей.

Тематические карты, выполненные на основе данных дистанционного зондирования, часто используются при решении задач ландшафтного планирования, технико-экономического обоснования конкретных проектов хозяйственной деятельности, в том числе в моделировании пригодности ландшафтов к различным видам техногенной нагрузки (Гагаева, 2004; Ahmed, 2015; Xie и др., 2015; Nguyen и др., 2016). В предлагаемом примере приоритетность участков для размещения объектов нефтегазопромыслов оценивалась путем интегрального анализа двух морфологических параметров - уклона рельефа и экспозиции склона, и одного пространственного - удаленности объекта от водотока. Растровые изображения экспозиции и уклона формировались на основе цифровой модели рельефа SRTM3, удаленность от водотока определялась с использованием векторных слоев объектов месторождений и гидрографической сети. Степень приоритетности выявлялась путем совмещения трех классифицированных карт с агрегированием пространственных данных, отражающих ситуацию для оцениваемых параметров. Рамки выделения классов для каждого параметра приведены в таблице 15.

Таблица 15. Классификация оцениваемых параметров для определения геоэкологической приоритетности локальных местоположений для размещения объектов нефтегазовых месторождений

Параметры	Классы
Уклон рельефа	0-3° - класс 1 4° – 15° – класс 2 Более 15°- класс 3
Экспозиция склона	Северный склон - класс 1 Северо-западный и северо-восточный склоны – класс 2 Южный склон – класс 3
Удаленность объектов месторождений от водотоков	Более чем 1500 м – класс 1 500-1500 - класс 2 0-500 м – класс 3

Интегральная картосхема классов геоэкологической приоритетности представлена на рисунке 59. Первый класс охватывает участки, нежелательные, с геоэкологической точки зрения, для размещения нефтегазопромысловых объектов, второй класс включает умеренно-пригодные участки, третий класс отображает участки, наиболее предпочтительные для размещения объектов нефтегазодобычи (Mjachina, Baynard, Chibilyev, 2018).

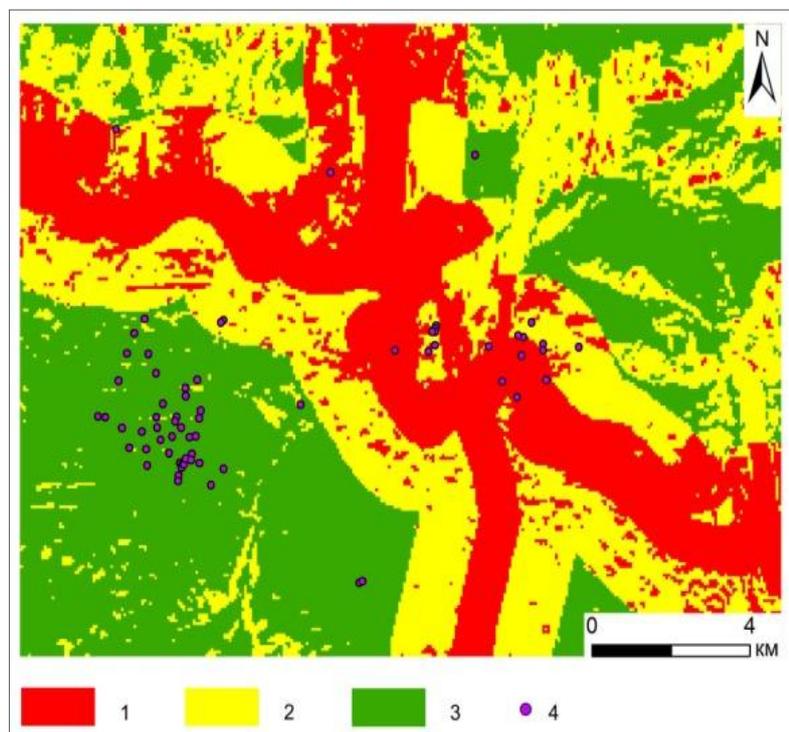


Рисунок 59. Зонирование территории ключевого участка №11 по приоритетности ландшафтных местоположений объектов нефтегазопромысла с учетом уклона рельефа, экспозиции склона и удаленности от водотока: 1 - неблагоприятные участки, 2 - умеренно-благоприятные участки, 3 – предпочтительные участки, 4 – площадки с объектами нефтегазопромысла.

Определено количество объектов нефтегазопромысла в каждом из трех классов на ключевом участке №11. Из них 29 площадок расположены в «красной зоне» - на неблагоприятных участках (24,2%), 21 площадка - на умеренно-благоприятных участках (17,5%), 70 площадок размещены на предпочтительных участках (58,3%).

Ряд анализируемых подобным образом показателей может быть неограничен, поэтому при принятии решения о размещении объектов нефтегазодобычи необходимо выделять наиболее определяющие, используя принцип специфичности (подробнее об этом см. подгл. 5.3). То, что может быть пригодно с точки зрения инженерной оценки (на чем, как правило, и основываются планировочные решения), часто неприемлемо с точки зрения геоэкологии. Представленный подход предусматривает корректировку анализируемых показателей с целью наиболее полного учета локальных особенностей местности.

### **5.2.2. Выделение лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов**

Одним из вариантов оптимизации ландшафтов в условиях добычи нефти и газа может стать выделение лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов. В его основе лежит схема ландшафтной дифференциации степной зоны на типологические ландшафтные единицы – типы местности (Чибилёв, 2000). 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. Ландшафтные карты часто разрабатываются как для решения теоретических вопросов, так и для прикладных целей, выступая как основой оценки территории для планирования мероприятий в области природопользования с точки зрения природно-ресурсного потенциала ландшафтов, так и для целей мониторинга состояний природной среды (Заурбеков, 2012).

Рассмотрим ныне существующее расположение месторождений нефти и газа относительно типов местности на примере Оренбургской области (рис. 60).

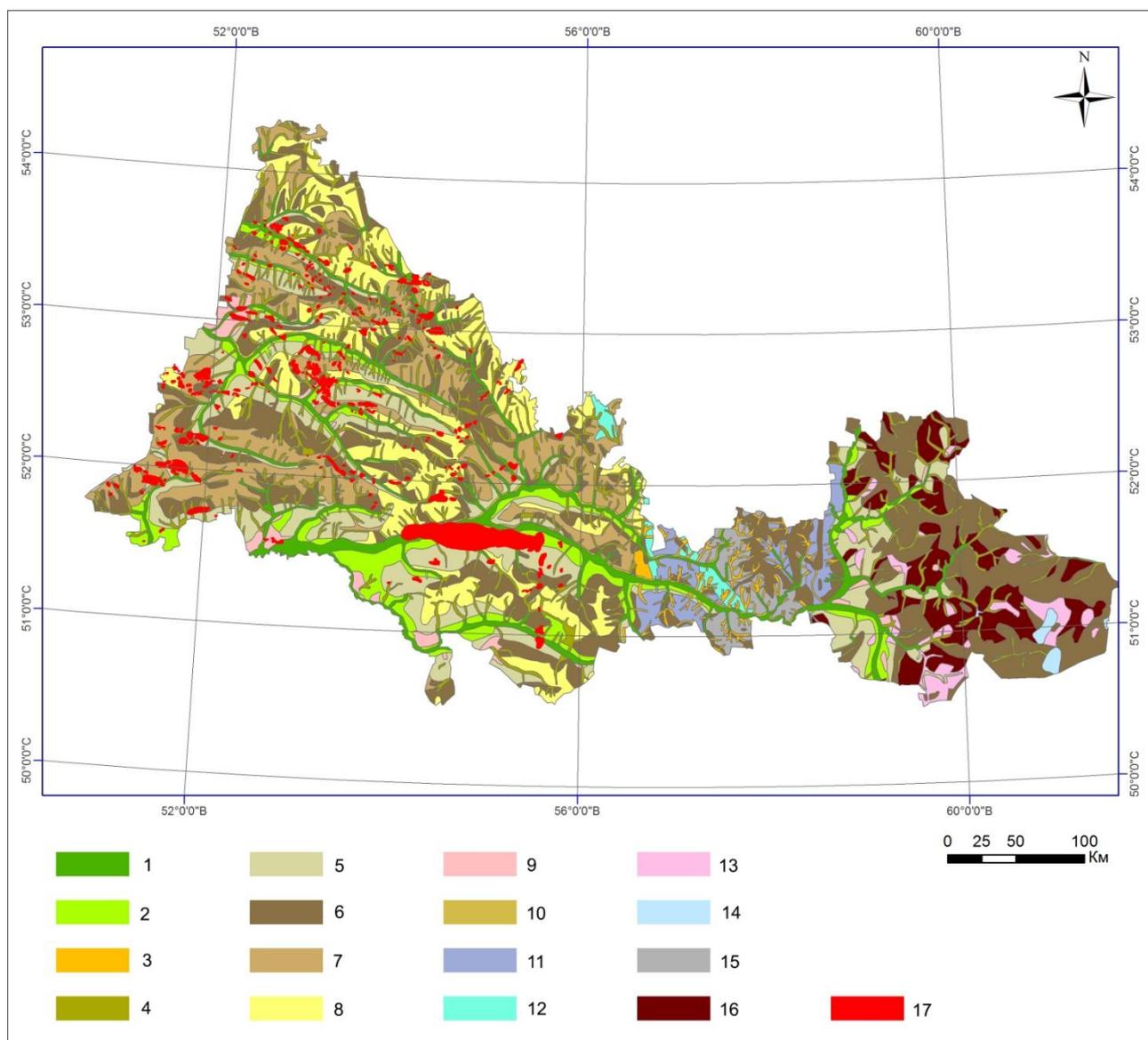


Рисунок 60. Пространственная дифференциация и районирование местоположений месторождений нефти и газа Оренбургской области относительно ландшафтных единиц (типов местности): 1 - пойменный тип местности, 2 - надпойменно-террасовый, 3 - долинно-балочный, 4 - придолинно-плакорный, 5 - водораздельно-плакорный, 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.

Ареалы месторождений изучаемого региона охватывают практически все разнообразие выделяемых типологических ландшафтных единиц (Мячина, Дубровская, 2018). В ходе полевых исследований выявлено, что и при размещении объектов нефтегазопромыслов зачастую не учитываются уровни устойчивости типов местности, значимость их потенциальных экосистемных услуг.

С участием автора разработан комплекс ограничений природопользования и системы защитных мероприятий, в основе которого лежит использование типологической классификации ландшафтов (табл. 16). Например, хорошо дренированные водоразделы являются наиболее ценными в хозяйственном отношении, в связи с чем целесообразно наложение ряда ограничений на их использование. В пойменных типах местности рекомендуется полный запрет недропользования; в надпойменных - запрет на сооружения шламовых амбаров, отстойников, хвостохранилищ и других мест хранения отходов, ограничение вырубки залесенных участков; в долинно-балочных и водораздельно-холмистых - 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 (подробнее см. Чибилёв, Мячина, Дубровская, 2014). Указанный оптимизационный подход может использоваться как частное, локальное технологическое решение.

Таблица 16. Оптимизация природопользования при нефтегазодобыче на основе типологии ландшафтных местоположений

Тип местности	Пути оптимизации природопользования
Пойменный, надпойменно-террасовый	В <i>пойменных</i> типах местности необходим полный запрет недропользования. В <i>надпойменных</i> рекомендуется запрет на создание шламовых амбаров, отстойников, хвостохранилищ и других мест хранения отходов. Ограничение вырубки залесенных участков.
Долинно-балочный	Ограничение вырубки залесенных участков. Защита склоновых поверхностей от эрозии (биологическими, механическими или физико-химическими методами) Укрепление деформированных элементов ландшафта.
Придолинно-плакорный	Введение лимита на отвод земель. Специальный контроль за уплотнением верхних горизонтов почв.
Водораздельно-плакорный	Максимальная локализация очагов воздействия на ландшафты. Введение лимита на отвод земель. Специальный контроль за уплотнением верхних горизонтов почв.
Водораздельно-холмистый	Защита склоновых поверхностей от эрозии (биологическими, механическими или физико-химическими методами). Укрепление деформированных элементов ландшафта.
Водораздельно-увалистый останцовый	Защита склоновых поверхностей от эрозии (биологическими, механическими или физико-химическими методами). Укрепление деформированных элементов ландшафта (карьеров, отвалов).
Бугристо-песчаный	Максимальная локализация очагов воздействия на ландшафты. Запрет на создание шламовых амбаров, отстойников, хвостохранилищ и других мест хранения отходов.
Холмисто-увалисто-останцовый	Максимальная локализация очагов воздействия на ландшафты.
Приречно-мелкосопочный	Защита склоновых поверхностей от эрозии (биологическими, механическими или физико-химическими методами).
Междуречный слабодренированный	Укрепление деформированных элементов ландшафта.

### 5.2.3. Пространственно-временная дифференциация техногенного воздействия и ее значение для оптимизации ландшафтов

Техногенная нагрузка на ландшафты нефтегазовых месторождений складывается из совокупного воздействия пространственно-временных факторов - показателей техногенной нагрузки. Выделить, оценить эти показатели, определить их влияние на результативный признак - общий уровень техногенной трансформации ландшафтов позволяют методы математической обработки. Интересный результат показало применение многомерной группировки – метода многомерных средних. Целью группировки являлось разбиение совокупности исследуемых показателей нагрузки на качественно однородные группы по нескольким признакам одновременно и определение на их основе связи и влияния факторных признаков на результативный.

Первым шагом были подобраны диагностические показатели техногенной нагрузки, на основе балльной оценки которых выполнена классификация нефтегазоносных муниципальных образований (районов) Оренбургской области по степени техногенной трансформации (табл. 17).

Таблица 17. Балльная оценка показателей техногенной нагрузки на ландшафты в нефтегазоносных муниципальных образованиях Оренбургской области

	Показатель	Количественное значение	Оценка в баллах
1	Количество разрабатываемых месторождений нефти и газа	1-5	1
		6–10	2
		11-15	3
		16–20	4
2	Плотность пробуренных скважин (кол-во/100 км <sup>2</sup> )	< 1	1
		1-5	2
		6-10	3
		11-15	4
		16-20	5
		21–25	6
3	Узловые сооружения нефтегазопромыслов	1-3	1
		4-6	2
		7-9	3
4	Период разработки месторождения	ввод в разработку до 1952 г	4
		с 1952 по 1975 г.	3
		с 1975 по 1995 г.	2
		после 1995 г.	1

5	Размерность месторождения по величине запасов сырья	мелкое (< 10 млн.т) среднее (10-30 млн.т) крупное (> 30 млн.т)	1 2 3
6	Зарегистрированные аварии на месторождениях района, кол-во/ 5 лет	1-3 4-6 7-9 10-12	1 2 3 4
7	Особо охраняемые природные территории в зоне влияния нефтегазопромыслов	1-3 4-6 7-9 10-12 13-15 16-18	1 2 3 4 5 6
8	Доля земель в общей площади района, отведенных под объекты нефтегазодобычи	0-1 % >1-10 % >10-20 % >20-30 % > 30-40 %	1 2 3 4 5
9	Месторождения с тяжелой нефтью ( $\rho > 0,89 \text{ г / см}^3$ )	1-2 3-4 5-6	1 2 3
10	Месторождения с высоким содержанием сероводорода в попутном нефтяном газе ( $\text{H}_2\text{S} > 3\%$ )	1-2 3-4 5-6	1 2 3
11	Скважины, находящиеся в долгосрочной консервации (более 20 лет)	< 10 11-20 21-30 31-40	1 2 3 4
12	Объем накопленной добычи углеводородного сырья на месторождениях (тыс.т/км <sup>2</sup> )	< 100 100-500 > 500-1000 > 1000-1500	1 2 3 4

По каждому диагностическому показателю (признаку) нагрузки был произведен двухфакторный анализ: наличие / отсутствие признака и его количественное значение, после чего показателям было присвоено определенное количество баллов. На этой основе для каждого муниципального образования подсчитана общая балльная оценка трансформации, принятая за результативный показатель техногенной трансформации ландшафтов (подробнее методику см.: Мячина, Дубровская, 2009).

В основу построения многомерной группировки был положен принцип перехода от величин, имеющих определенную размерность, к безразмерным относительным величинам.

Все значения факторных признаков  $X_i$  заменялись отношениями:

$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\bar{X}_j}$ , где  $\bar{X}_j$  - средний уровень  $j$ -го факторного признака

На основе относительных величин всех факторных признаков  $P_{ij}$  определяли многомерную среднюю:

$\bar{P}_{ij} = \frac{\sum P_{ij}}{k}$ , где  $k$  – число факторных признаков

Из исходных факторных признаков, близких между собой по характеру воздействия, формировались группы – обобщенные факторы следующим образом:

- группа I - «Количественная характеристика объектов нефтегазодобычи» включает показатели: количество месторождений нефти и газа, плотность пробуренных скважин (кол-во/100 км<sup>2</sup>), количество узловых сооружений нефтегазопромыслов;

- группа II - «Качественная характеристика объектов месторождений»: месторождения с различными сроками разработки, месторождения разной размерности (по величине запасов сырья), месторождения с различными объемами накопленной добычи сырья (тыс. т/км<sup>2</sup>);

- группа III - «Непосредственные нарушения в ландшафтах» включает показатели: количество крупных аварий на объектах месторождений, наличие особо охраняемых природных территорий в зоне влияния нефтегазопромыслов, доля земель от общей площади района под объектами нефтегазодобычи;

- группа IV - «Степень возможных опасностей» включает показатели: месторождения с тяжелой нефтью ( $\rho > 0,89$  г см<sup>3</sup>), месторождения с высоким содержанием сероводорода в попутном нефтяном газе ( $H_2S > 3\%$ ), скважины, находящиеся в долгосрочной консервации (более 20 лет).

На основе относительных величин факторных признаков, составляющих обобщенный фактор – группу факторов однородного воздействия, определялись факторные многомерные средние для каждой группы показателей. При этом

значимость влияния групп на конечный резульативный признак предполагалась одинаковой.

Ширина равного интервала для построения групп на основе многомерной средней определялась по формуле:

$$h = \frac{\bar{P}_{\max} - \bar{P}_{\min}}{n}$$

где  $n$  – число групп; исходя из объема совокупности  $n = 4$ .

Для оцениваемых значений были получены  $\bar{P}_{\max} = 1,894$ ,  $\bar{P}_{\min} = 0,173$ ,  $h = 0,430$

Соответственно, были определены интервалы по многомерной средней для муниципальных районов:

$\leq 0,603$  - районы со слабым уровнем техногенной трансформации ландшафтов,

$< 0,603 \geq 1,033$  - районы со средним уровнем трансформации ландшафтов,

$< 1,033 \geq 1,463$  - районы с сильным уровнем трансформации ландшафтов,

$< 1,463$  - районы с максимальным уровнем трансформации ландшафтов.

В итоге была сформирована многомерная группировка нефтегазоносных районов Оренбургской области по уровням вклада каждой группы факторов однородного воздействия в техногенную трансформацию ландшафтов (табл. 18).

Таблица 18. Многомерная группировка нефтегазоносных муниципальных образований Оренбургской области по уровням вклада групп факторов однородного воздействия в техногенную трансформацию ландшафтов

Группы районов по многомерной средней	Кол-во районов	Общий балл техногенной трансформации ландшафтов	Обобщенные факторы (группы)							
			I		II		III		IV	
			Кол-во районов	Балл трансформации	Кол-во районов	Балл трансформации	Кол-во районов	Балл трансформации	Кол-во районов	Балл трансформации
$\leq 0,603$	11	11,272	12	10,750	13	12,077	12	11,750	15	21,267
$< 0,603 \geq 1,033$	7	30,714	2	29,000	5	34,600	6	36,833	7	47,143
$< 1,033 \geq 1,463$	5	59,000	4	35,750	1	53,000	3	42,667	2	40,500
$< 1,463$	1	96,000	6	66,667	5	69,400	3	80,000	0	0

Оценивалась геоэкологическая ситуация в 24 нефтегазоносных муниципальных образованиях Оренбургской области, в 11 из которых отмечен слабый уровень общей техногенной трансформации (рис. 61).

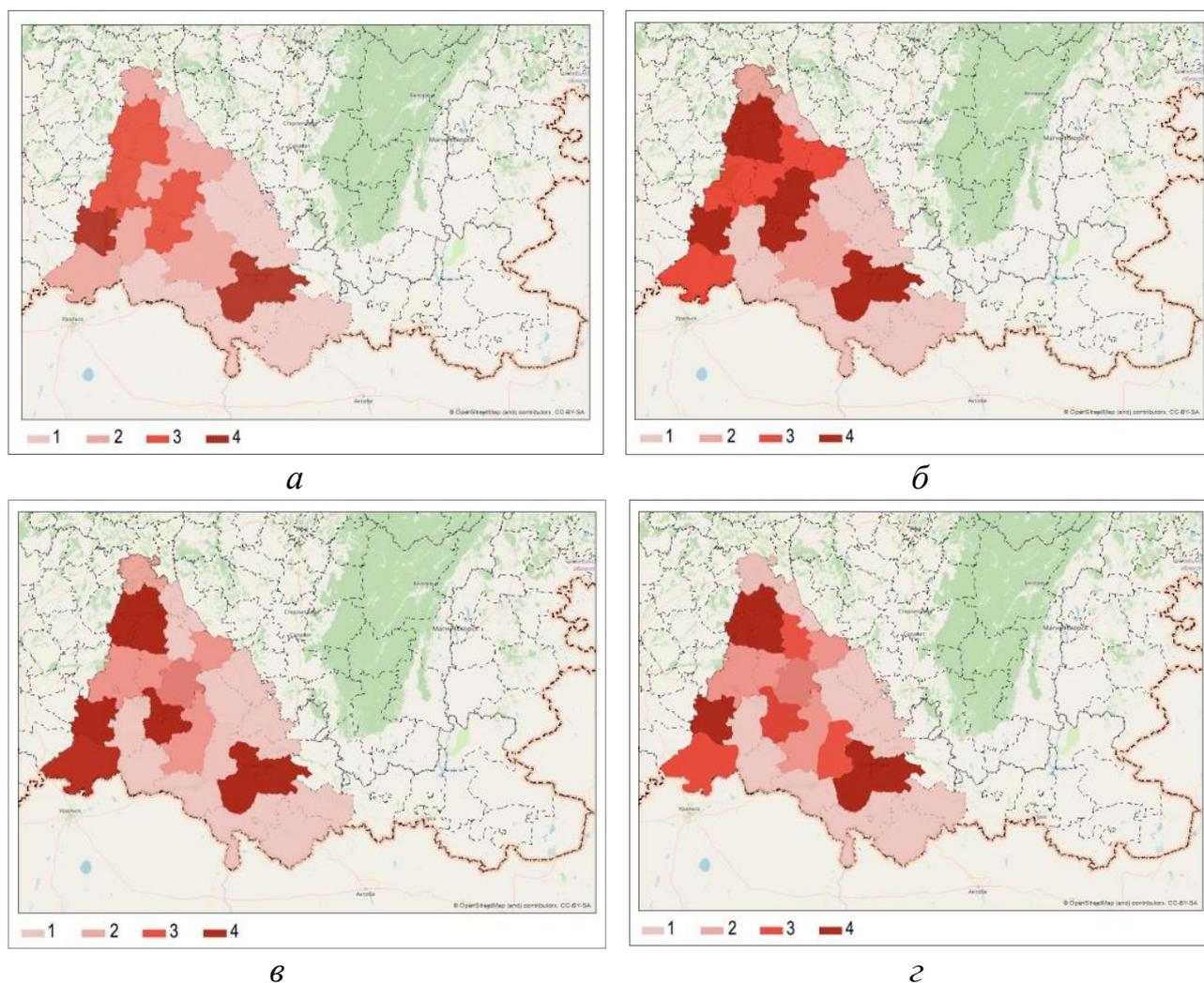


Рисунок 61. Пространственно-временная дифференциация муниципальных районов Оренбургской области: а) по общему уровню техногенной трансформации ландшафтов, б) по вкладу показателей группы I «количественная характеристика объектов месторождений» в общий уровень трансформации ландшафтов, в) по вкладу показателей группы II - «качественная характеристика объектов месторождений», г) по вкладу показателей группы III - «непосредственные нарушения в ландшафтах», где 1 - слабый уровень трансформации, 2 – средний, 3 – сильный, 4 - максимальный.

В 7 районах отмечен средний уровень техногенной трансформации ландшафтов, в 5 – сильный, в 1 районе отмечен максимальный уровень техногенной трансформации ландшафтов. Группа I «Количественная характеристика объектов месторождений» внесла слабый вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов в 12 районах, средний - в 2 районах, сильный – в 4 районах, максимальный вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов эта группа внесла в 6 районах. Группа II «Качественная характеристика нефтегазопромысловых объектов» внесла слабый вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов в 13 районах, средний – в 5 районах, сильный – в 1 районе, максимальный вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов эта группа внесла в 5 районах. Группа III «Непосредственные нарушения в ландшафтах» внесла слабый вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов в 12 районах, средний – в 6 районах, сильный – в 3 районах, максимальный вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов эта группа внесла в 3 районах. Группа IV «Степень возможных опасностей» внесла слабый вклад в уровень техногенной трансформации ландшафтов в 15 районах, средний – в 7 районах, сильный – в 2 районах, максимальный вклад этой группы в уровень техногенной трансформации ландшафтов не отмечен ни в одном из анализируемых районов. Таким образом, наибольший вклад в техногенную трансформацию ландшафтов нефтегазоносных районов вносят факторы группы I «Количественная характеристика объектов месторождений», наименьший – показатели факторы группы IV «Степень возможных опасностей».

Предложенный подход позволяет выявить структуру и основные движущие силы техногенного воздействия на ландшафты в районах нефтегазодобычи, которые должны учитываться при разработке стратегии оптимизации и рекомендаций по обеспечению геоэкологической безопасности муниципальных образований. Становится понятно, какие факторы техногенного воздействия требуют особого контроля и нуждаются в регулировании на территории муниципального образования. Важно и то, что метод предусматривает

возможность корректировки факторов - показателей нагрузки, подходу к группированию факторов, балльной системы оценки уровня нагрузки.

Предлагаемый подход к анализу открытых систем нефтегазодобывающих предприятий принципиально отличается от иных, более частных, тем, что при его реализации первичными информационно-значимыми показателями выступают не отдельные факторы, а их совокупности, приобретающие особые свойства благодаря характерным взаимосвязям и отношениям. Даже пространственно самые большие системы в условиях степной зоны оказываются не монолитными, а дифференцируются на системы 2-го, 3-го и других порядков, чем предопределяется их морфологическое и динамическое разнообразие. Такое разнообразие отмечается не только в Волго-Уральском и сопредельных регионах России, но и в отдаленных аналогах (США, штат Колорадо), исследованных автором совместно с коллегами из Экологического центра Университета Северной Флориды.

Изучение развивающихся систем нефтегазодобывающего природопользования с геоэкологических позиций целесообразно не только в глобальном и региональном, но также и муниципальном аспектах.

#### **5.2.4. Учет порогового значения нарушенных нефтегазодобычей земель в границах пашни**

Результаты анализа многолетней динамики площади пашни, расположенной в тесном соседстве с нефтегазовыми месторождениями, предложенные в подгл. 3.8, дают основания предположить наличие критического порогового значения доли нарушенных земель, задействованных под нефтегазодобычу в границах действующего поля, при превышении которого вероятность вывода поля из оборота приближается к 100%.

Для определения указанного порогового значения выполнен анализ 62 полей, расположенных на ключевых участках №5, №8, №11 (см. рис. 47 подгл. 3.8). Оценивались два показателя: 1 - доля земель, задействованных под

нефтегазодобычу в границах поля, 2 – статус поля: эксплуатируется или заброшено. Результаты представлены в таблице 19.

Таблица 19. Совокупная доля нарушенных нефтегазодобычей земель на действующих и заброшенных полях сельскохозяйственного назначения ключевых участков №5, №8, №11.

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

Как видно из таблицы 19, 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 показывая закономерностей, пока диапазон нарушенных земель составляет 1-5% в границах поля. Но как только показатель нарушенных земель достигает 6%, поле, как правило, выводится из оборота.

Безусловно, на пороговое значение влияют множество локальных и региональных факторов, требующих дальнейшего изучения, поэтому пороговая величина будет корректироваться с учетом конкретных условий местности. Тем не менее, наличие порогового значения нарушенных нефтегазодобычей земель, при превышении которого практически неизбежно происходит вывод поля из оборота, не вызывает сомнения.

Учет порогового показателя способен помочь в поиске 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 законодательства.

### **5.3. Геоэкологическая концепция оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях добычи нефти и газа**

Природопользование как деятельность общества представляется не только экономически выгодным использованием ресурсного потенциала в производственных процессах, но также его охраной, восстановлением и воспроизводством (Куражковский, 1969; Анучин, 1978; Реймерс, 1990; Краснов, Романчук, 2009 и др.). Хозяйственная деятельность, по мере своего развития, опиралась на различные концепции устойчивого, сбалансированного, рационального природопользования, в той или иной мере учитывающие основные составляющие геоэкологически обоснованного развития территорий - использование, охрану и воспроизводство природно-ресурсного потенциала. Долгое время бытовала «концепция приспособления организмов», согласно которой в процессе эволюции биотические элементы экосистем способны адаптироваться к антропогенным изменениям (Трофимов, 1988). Однако объемы техногенных нагрузок, многократно превышающие скорость адаптации природы, выявили несостоятельность этого подхода.

В 60-70 гг. XX в. в степных регионах СССР природоохранная деятельность, по большей части, основывалась на освоении природных ресурсов по значениям, утверждаемым «сверху» исходя из необходимости решения народно-хозяйственных задач. Реализация этой «руководящей» концепции привела к массовой распашке земель, нерациональному ведению мелиоративных работ, сведению лесов, превратила многие водные объекты в непригодные для питьевого водоснабжения и рекреации (Концепция..., 1990).

В XXI в. среди наиболее действенных международно признанных подходов к оптимизации ландшафтов – его регулирование на основе санитарно-гигиенических нормативов предельно-допустимых выбросов и сбросов, стандартов серии ISO-14000 и др. Однако они не уберегают ландшафты от масштабных техногенных преобразований. Необходим более комплексный подход с использованием ряда современных методов, призванных обеспечить в

совокупности положительный синергетический эффект. Поиски решения этой задачи привели к появлению ряда концептуальных подходов, разработанных с целью устранения противоречий между заявляемыми потребностями в активном использовании природных ресурсов и необходимостью сохранения динамического равновесия в геосистемах, снижения риска деградации ландшафтов на локальном, региональном и глобальном уровнях (Трофимов, 1988; Геоситуационный подход..., 1993; Кочуров, 2003).

Основой развиваемой автором концепции геоэкологической оптимизации степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи является приоритет экологической составляющей в системе «использование – охрана – восстановление естественных свойств ландшафта» - оптимизация невозможна без восстановления состояния ландшафтов, максимально приближенного к естественному.

Для реализации предлагаемой концепции при ведении хозяйственной деятельности на территориях нефтегазовых месторождений предлагается руководствоваться тремя основными принципами: уникальности (специфичности), геоинформационной обоснованности и геоэкологической эффективности (рис. 62).

Первым из них учитывается, что при разработке мероприятий по оптимизации ландшафтов каждое месторождение должно считаться особенным, его нужно рассматривать с точки зрения уникальной частности, а предлагаемые решения должны быть максимально конкретизированы с учетом специфических условий трансформируемой местности. Следующий принцип предполагает, что любые действия должны соответствовать результатам геоинформационного обеспечения разработок. Необходимо внедрение на всех стадиях развития ПТГНМ инновационных подходов к анализу геоэкологического состояния местности - интерпретации данных дистанционного зондирования, тематической специализированной обработки геоданных, картографического моделирования возможных геоэкологических ситуаций и проблем.

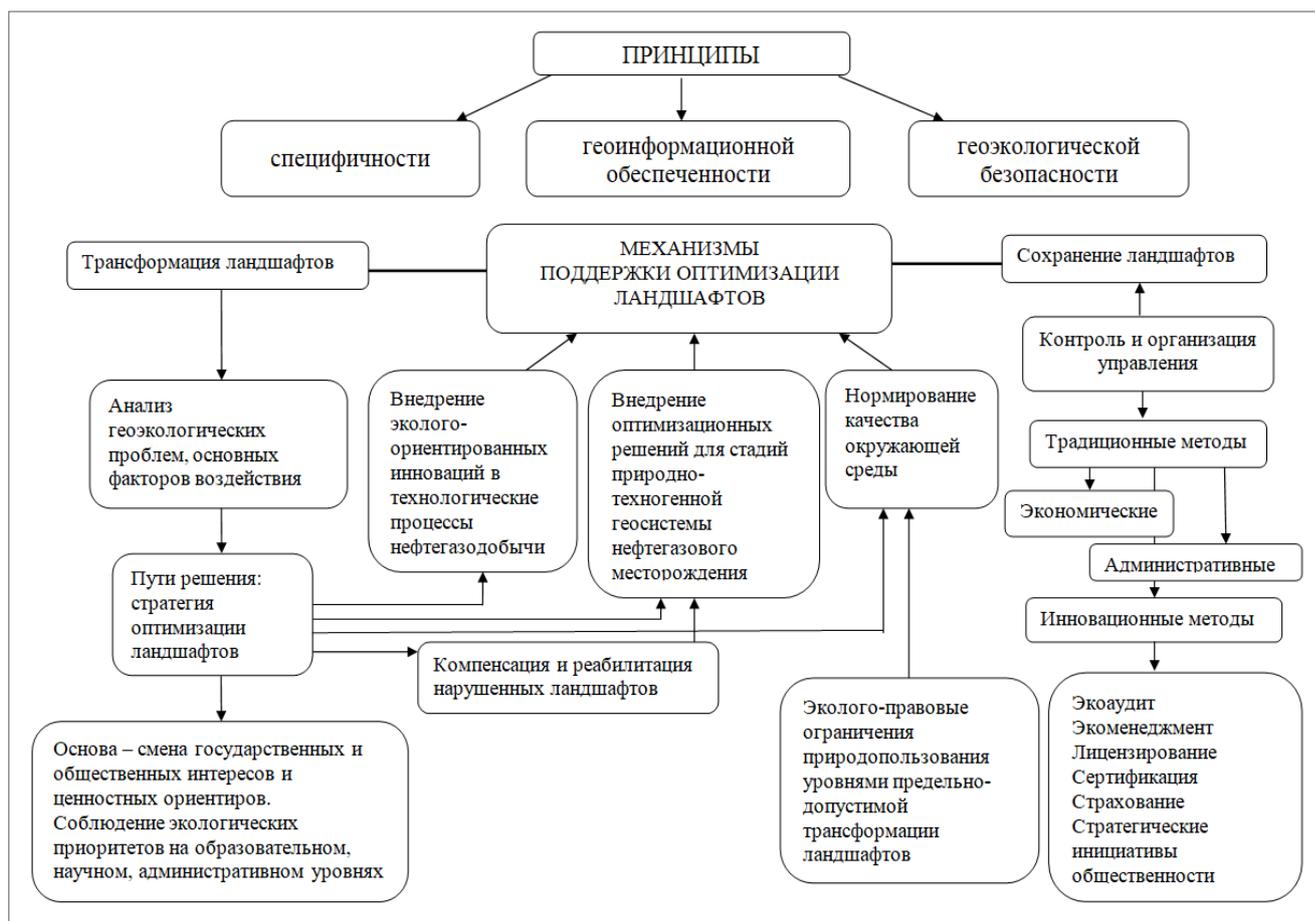


Рисунок 62. Геоэкологическая концепция оптимизации степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи (по: Мячина, Краснов, 2018, с изменениями)

Геоинформационное моделирование, основанное на «больших данных» (big data) позволяет актуализировать наше представление о ландшафтах, их состоянии и современной динамике, выстроить достоверную картину земле- и ресурсопользования, корректно оценить потенциал и резистентность ландшафтов, возможности их реабилитации (Гуня и др., 2019). Соблюдение этого принципа будет наилучшим образом способствовать повышению эколого-экономической эффективности нефтегазодобывающего природопользования. В рамках концепции обоснованы три основных блока поддержки оптимизации ландшафтов: нормирование качества окружающей среды, внедрение оптимизационных подходов для стадий природно-техногенной геосистемы месторождения и

внедрение эколого ориентированных инноваций в процессы нефтегазодобычи (подробнее см. Мячина, Краснов, 2018).

Для рационализации природопользования и улучшения геоэкологических условий необходимо, чтобы все производство уподобилось природосообразным процессам и включилось в круговороты вещества, энергии и информации (Анучин, 1978). Однако на данном этапе развития науки и техники все еще сложно и непомерно затратно уподобить природным процессам масштабное извлечение из недр земли полезных ископаемых и сопутствующие этому технологические циклы. Но вполне возможно максимально снизить техногенное давление на компоненты ландшафтов, применив ландшафтно-адаптивный подход, который может стать базовым звеном в реализации сбалансированного природопользования при разработке нефтегазовых месторождений. Хотя в большинстве исследовательских предложений по развитию адаптивного природопользования речь идет об агропромышленном освоении ландшафтов, принцип адаптации землепользования к характеристикам ландшафтных местоположений может и должен применяться при осуществлении любого вида хозяйственной деятельности (Осипов, 2017). В данном случае под адаптивно-ландшафтным подходом подразумевается приспособление размещения объектов нефтегазодобычи, с учетом их производственной функции, к свойствам и характеристикам ландшафтных местоположений, что призвано максимально приблизить природно-техногенные ландшафты к равновесному состоянию, характерному для естественных геосистем.

Вариантами реализации предлагаемого подхода могут стать пути, предложенные выше: оценка ландшафтных местоположений по степени геоэкологической приоритетности к размещению объектов нефтегазопромыслов, выделение лимитирующих факторов природопользования на основе типологической классификации ландшафтов. Местоположения ранжируются для целей размещения объектов месторождений с точки зрения минимизации негативного воздействия на компоненты и свойства ландшафта и снижения связанных с этим возможных неблагоприятных эффектов, например, эрозионных

процессов (см. подгл. 5.2.1). К сожалению, практически невозможно совместить в одном ландшафтном местоположении лишь положительные для размещения объектов факторы: минимальную предрасположенность к развитию экзогенных процессов, склонность к активному транспорту загрязняющих веществ за пределы ландшафтного таксона, допустимость вырубки облесенных участков, создания площадок хранения отходов и пр. В этом случае при расстановке приоритетов особое значение приобретает учет принципа специфичности местности.

Геоэкологические приоритеты могут быть определены исходя из зональной специфики. Согласно В.М. Кононову с соавторами (2014), геоэкологические ограничения землепользования на Южном Урале (территория входит в состав Волго-Уральского степного региона) связаны с проявлением водной эрозии, дефляции, дегумификации, осолонцевания и засоления почвенного покрова. Помимо ограничивающих характеристик ландшафтных местоположений необходимо учитывать и нарастающий дефицит обводненности местности, и связанное с ним широтное возрастание дефляционной опасности по направлению с севера, от лесостепной зоны, на юг, к зоне сухих степей.

Внедрение в процессы нефтегазодобычи эколого-ориентированных технологий, модернизация поколений нефтегазодобывающего оборудования и техники, повышение эффективности переработки нефти и качества выпускаемых нефтепродуктов (Махмудова и др., 2017), быстрая смена технологических процессов и способов производства на соответствующие более жестким экологическим, экономическим и социальным стандартам жизнедеятельности населения – все это создает условия для повышения эффективности нефтегазодобывающего природопользования, минимизации отходов и максимального расширения возможностей оптимизации ландшафтов.

К сожалению, количество геоэкологических инноваций в нефтегазодобыче невелико (Ефимова, 2011), для их внедрения необходимы более пристальное внимание и интерес со стороны государства и нефтегазодобывающих компаний. Внедрение современных эколого-ориентированных технологий и организационно-технологических решений в процессы добычи, первичной

переработки и транспортировки нефти и газа также является одним из путей минимизации техногенных потоков в исходные ландшафты. Этому могут содействовать применение подходящих методов увеличения нефтеотдачи пластов (Даукаев, Мусхаджиев, 2018), оборудование устьев эксплуатационных скважин приустьевыми поддонами, площадок эксплуатационных скважин - дренажными емкостями, их обвалование, ограждение и своевременная откачка содержимого; оборудование въездов на территорию скважин пандусами; оснащение источников выбросов в атмосферу специальными газо-, пылеулавливающими установками; прокладку трубопроводов через овраги и балки наземным способом на опорах; надежная изоляция пресноводных горизонтов от попадания природных рассолов и нефти при бурении (Безродный, 2009), внедрение современных методов рекультивации нарушенных и загрязненных нефтью земель (Заалишвили и др., 2017). Для стимулирования подобных разработок и внедрения геоэкологических инноваций в процессы нефтегазодобычи требуется привлечение специалистов высокого уровня, что делает экологический маркетинг одной из главных задач оптимизации природопользования.

Одним из механизмов сохранения ландшафтного и биологического разнообразия региона, поддержания его геоэкологической стабильности, компенсации последствий техногенного воздействия является развитие сети особо охраняемых природных территорий. Оптимально, если существующие административно-правовые и экономические методы регулирования природопользования способствуют заинтересованности компаний-недропользователей в таких мероприятиях. В качестве примера можно привести историю Бузулукского бора – крупнейшего лесного массива среди открытых степей, входящего в состав природно-экологического каркаса Волго-Уральского степного региона. В 1933 г. в центральной части бора был создан государственный заповедник, ликвидированный в 1948 г. С 1953 г. в бору проводились геологоразведочные работы на нефть и газ, результатом которых стало открытие трех нефтяных месторождений и начало работ по добыче нефти. Однако в 1977 г. Бузулукский бор был отнесен к особо ценным лесным массивам,

в связи с чем работа нефтепромыслов была приостановлена, а имеющиеся скважины – законсервированы или ликвидированы (рис. 63).

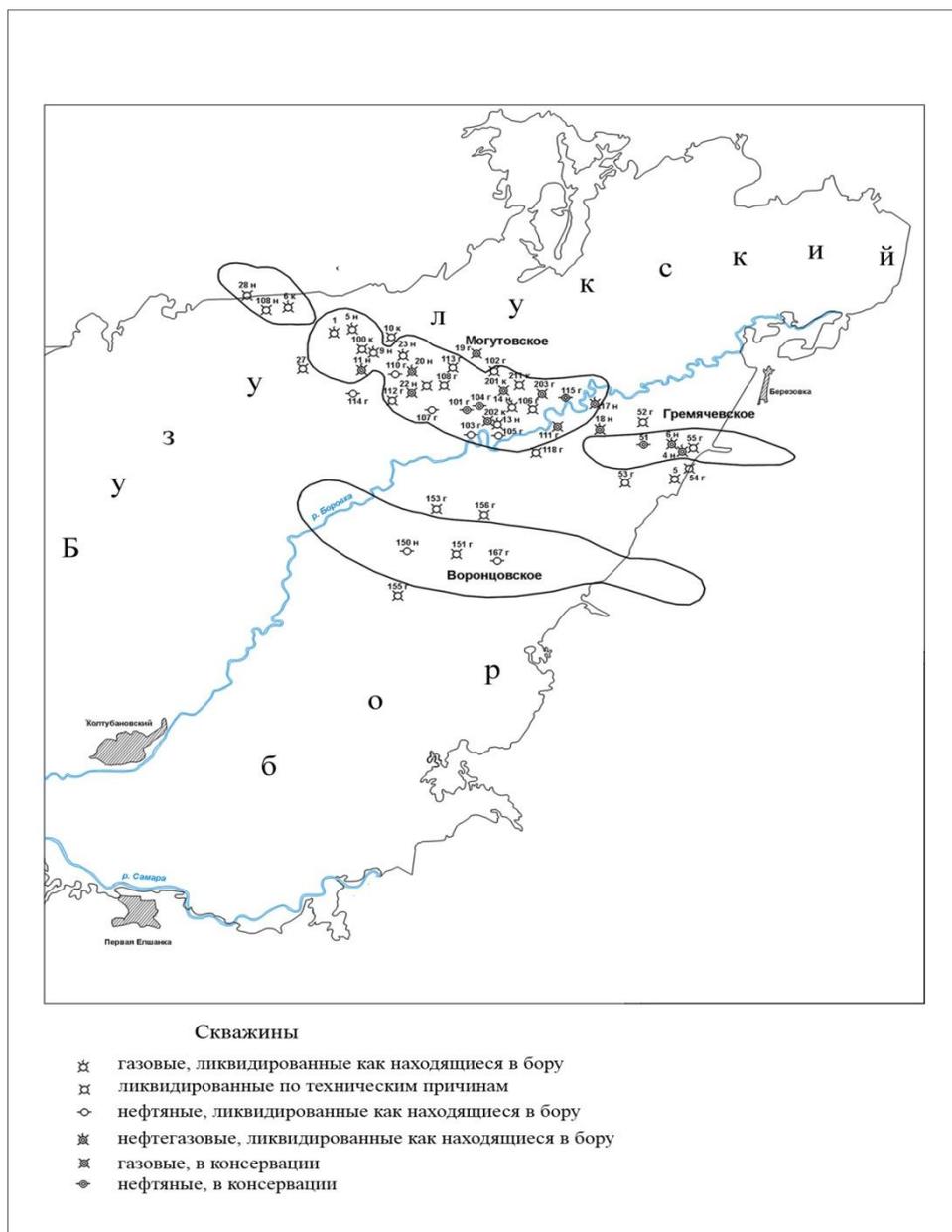


Рисунок 63. Ликвидированные и законсервированные скважины нефтегазовых месторождений в пределах Бузулукского бора после его отнесения к особо ценным лесным массивам (Источник: Чибилёв, Мячина, 2007).

С 1997 в течение нескольких лет Институтом степи Уральского отделения Российской академии наук под руководством академика РАН А.А. Чибилёва разрабатывалось ландшафтно-экологическое обоснование организации национального парка «Бузулукский бор». В 2007 г. бору был присвоен статус

национального парка, что произошло, в том числе, при поддержке холдинга «ТНК-ВР». Это решение является реальным примером вклада компании-недропользователя в реабилитацию ландшафтов степной зоны (Чибилёв, Мячина, 2007). Однако на данный момент нефтедобывающие работы в бору возобновляются, и механизмов противостоять этому нет.

Переход от жесткого административного контроля и надзора к стимулированию природоохранной деятельности на нефтегазопромислах требует разработки и внедрения в практическую деятельность современных эколого-экономических методов регулирования. По опыту, внедрение систем экологического менеджмента в большинстве промышленно развитых стран сопровождается улучшением геоэкологических показателей предприятий, снижением экологических рисков и затрат природоохранного назначения, повышением конкурентных преимуществ на внешних и внутренних рынках. Перспективно введение систем экологического аудита, лицензирования и сертификации видов производственной деятельности и продукции на соответствие международным стандартам в области охраны окружающей среды (Региональное и муниципальное управление..., 2014). Многообещающе также выглядит внедрение «Рынка «зеленых облигаций» - нового для России инструмента достижения компанией международного уровня экологических стандартов путем стимулирования потока инвестиций в экологически значимые проекты.

Реализация концепции оптимизации степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи сопряжена с кардинальным изменением сугубо экономической политики производства на более экологизированную, направленную на улучшение условий жизнедеятельности населения степных регионов и возрождение естественного плодородия степи – тысячилетиями «вмещающего и «кормящего» ландшафта» народов Евразии (Гумилев, 2003). Лишь это поможет избежать техногенной деградации степных ландшафтов, их опустынивания и обезвоживания, потери уникальной степной биоты.

## **Выводы по главе 5**

Оптимизация ландшафтов – не разовое мероприятие, а постоянно действующий процесс улучшения их управлением для достижения приемлимых результатов нефтегазодобычи в сочетании с минимизацией экологического ущерба. Главная задача оптимизации – максимально возможное сохранение экосистемного потенциала ландшафтов (экосистемных услуг). Базовое направление оптимизации ландшафтов - ослабление и сокращение входящих в природные геосистемы материально-энергетических потоков техногенного происхождения.

Анализ и синтез проявлений полимасштабности воздействия нефтегазодобычи и ее последствий подводят к выводу, что оптимизация «по вертикали» может повысить устойчивость ландшафтов на более высоких иерархических уровнях, ослабляя тем самым остроту геоэкологических проблем на землях нефтегазодобывающих производств.

Принципами оптимизации ландшафтов при разработке нефтегазовых месторождений являются учет иерархической соподчиненности единиц природно-техногенной геосистемы, ее стадийности, глобальности и региональности эффектов оказываемых воздействий, эквивиальности нефтегазодобычи. Критериями оптимизации могут служить неутраченные экосистемные услуги ландшафта.

Разработаны блоки оптимизационных действий для последовательных этапов: планирования нефтегазодобывающего природопользования, функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, окончания разработки месторождения/ликвидации объектов нефтегазодобычи. Внедрение оптимизационных подходов будет способствовать снижению последствий трансформационных процессов в 2-10 раз, в зависимости от сочетаний ведущих факторов воздействия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного геоэкологического анализа ведущих природных и антропогенных факторов трансформации ландшафтов Волго-Уральского степного региона, сопоставления их с зональными аналогами в США (штат Колорадо) в работе был обоснован и конкретизирован полимасштабный подход к выявлению геоэкологических последствий разработки нефтегазовых месторождений на локальном, региональном и глобальном уровнях, с их соотношением с вызовами социально-экономического характера. Добыча нефти и газа в степных зонах Евразии и Северной Америки сопряжена с многосторонним воздействием на сельскохозяйственное производство и негативным влиянием на качество жизни и здоровья населения. На фоне системного мирового кризиса в отношениях стран и регионов нефтегазодобычи формулируется задача междисциплинарного комплексного анализа и взаимовлияния нефтегазодобывающего и аграрного типов природопользования. В более глобальном смысле – это перманентный конфликт интересов производителей и потребителей природных благ, с одной стороны, и получения стратегических преимуществ конкурирующими сторонами по коммерческим сделкам и продаже экономически важного сырья – с другой.

В этих условиях невозможно быстрое решение комплекса острейших эколого-социально-экономических проблем в нефтегазодобывающих регионах. Вместе с тем, все более очевидна необходимость смены потребительской стратегии мирового бизнес-сообщества на природозащитную и природосообразную, приоритетом которой будет сохранение жизнеобеспечивающих условий среды обитания живых существ, включающую, в том числе, рекультивацию нарушенных земель и оптимизацию степных ландшафтов.

Разумеется, это приведет к некоторому снижению доходности в отраслях хозяйственной деятельности, но разрушающая природу практика

недропользования может оказаться намного ущербнее для настоящего и будущих поколений. Даже санитарно-эпидемиологическая безопасность населения тесно связана со сбалансированностью систем природопользования, и новейшие крайне жесткие события планетарного масштаба стремительно приближают нас к пониманию всеобщности взаимосвязей и взаимозависимостей в природе и обществе. Учитывая общенаучные и отраслевые принципы оптимизации ландшафтов на локальном и региональном уровнях, переходя к уровням стран и континентов, концептуально вполне возможно последовательное улучшение геоэкологической ситуации, как было показано в этой работе. Экологизация, междисциплинарность оценок систем управления предприятиями, компетентность и грамотность специалистов, и, главное, эволюционная смена системы общественных ценностей и образа жизни человека способны в перспективе обеспечить переход к оптимальному и сбалансированному природопользованию.

Представленные в работе полимасштабные модели трансформации ландшафтов нефтегазодобывающего комплекса (картометрические, эмпирико-статистические, графические и др.) на фоне обостряющихся эколого-социально-экономических вызовов в Волго-Уральском степном регионе визуализированы на всех уровнях географической иерархии: локальном, региональном, глобальном. Концептуальные и аналитические подходы, реализованные автором, с использованием атрибутивных, функциональных и иерархических показателей определили значимость опережающего прогноза последствий разработки нефтегазовых месторождений, ликвидации зон геоэкологических проблем, выбора путей оптимизации трансформируемых степных ландшафтов.

На примерах месторождений России и США были разработаны и апробированы сопряженные методы геоэкологического анализа нефтегазоносных ландшафтов с использованием ГИС-технологий и геоданных, в том числе – данных дистанционного зондирования. В качестве наиболее актуальных направлений геоэкологических исследований предложены инновационные подходы к анализу данных и синтезу ведущих пространственно-временных

показателей динамики ландшафтов. Геосистемный подход позволил оценить геоэкологическое состояние природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений на разных стадиях их функционирования – от стадии планирования до стадии ликвидации нефтегазопромысла. В основу оценки изменяющихся геоэкологических ситуаций были положены разработки прогнозных сценариев развития ПТГНМ, а в разработку системы оптимизации ландшафтов - региональный геоэкологический анализ. Основные методологические принципы - системность, каузальность, полимасштабность взаимодействующих природных и техногенных факторов, выделение и классификация геоэкологических ситуаций, концептуальное обоснование перспективных направлений оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазодобывающего природопользования.

Расширен понятийно-терминологический аппарат исследования последствий нефтегазодобычи, позволивший отразить специфику воздействия и геоэкологических последствий производства. Предложенные формулировки терминов и понятий «Региональный геоэкологический анализ ландшафтов в условиях нефтегазодобычи», «Эквифинальность нефтегазодобычи», «Природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения», «Оптимизация ландшафтов в условиях разработки месторождений нефти и газа» дополняют понятийную теоретико-методологическую базу геомониторинга степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа.

Полимасштабный подход к анализу пространственно-временных связей и отношений в условиях нефтегазодобычи обусловлен гетерогенностью процессов в ходе этого специфического вида природопользования с одной стороны и эквифинальностью геоэкологических последствий - с другой. Полимасштабность исследования позволила разработать систему показателей и ведущих факторов трансформации, значимых для каждого масштаба и совокупности всех иерархических уровней природно-техногенной геосистемы. Полимасштабность анализа выявила многофакторный эффект воздействия нефтегазодобычи на окружающую действительность, в том числе – на социально-экономические

характеристики регионов и муниципальных образований, включая качество жизни населения.

Установлено, что распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфическое пространство техногенного изменения ландшафтов, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон влияния объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры, с возникновением очагов геоэкологических проблем (нарушенных земель, фрагментации ландшафтов, тепловых и газохимических ареалов, эрозии почв, изменения биоразнообразия, сокращения пахотных угодий и пр.). В большинстве случаев в местностях нефтегазодобычи образуются «зоны нефтяного геоэкологического наследия».

Разработанная автором методика распознавания нарушенных земель по зимним спутниковым изображениям позволила выявить фрагментацию ландшафтов - один из ведущих индикаторов их техногенной трансформации. В период наиболее интенсивной разработки месторождений плотность фрагментации возрастает более чем в 8 раз по сравнению с исходными показателями. Зоны нарушенных земель Волго-Уральского степного региона расширяются за счет свободного увеличения ареала техногенного воздействия и могут достигать  $5 \text{ км}^2/100 \text{ км}^2$ .

В районах с высоким уровнем техногенного воздействия нефтегазодобычи достоверно снизилась средняя многолетняя численность индикаторных степных видов млекопитающих (сурка, сибирской косули, зайца-русака) по сравнению с районами со слабой техногенной нагрузкой.

Функционирование нефтегазопромыслов ускоряет ход эрозионных процессов: на данный момент в эрозионно опасных зонах размещено более 10% объектов нефтегазопромыслов. В 20% случаев объекты размещены без учета геоэкологических рисков для водных объектов - негативному воздействию геохимического и механического загрязнения, а также вероятности изменения режима поверхностного стока подвергаются 78% водотоков региона исследования.

Вблизи действующих факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа в радиусе от 30 до 350 м происходит повышение температуры поверхности и приземного слоя атмосферы в среднем на 8°. Длина дымового шлейфа местами достигает 11 км и рассеивается на ширину до 3 км.

Более 20% площадок с объектами инфраструктуры месторождений расположены на пахотных землях. Сельскохозяйственные угодья, находящиеся в зоне влияния нефтегазовых промыслов, подвержены повышенному риску вывода из оборота – потери могут составлять до 20% используемых под пашню земель.

Ход трансформации ландшафтов при эксплуатации нефтегазовых месторождений отображает определенная типология – по совокупности ведущих факторов воздействия нефтегазодобывающего производства и зональными характеристиками местности. Специфичность их взаимодействия приводят к ослаблению одних процессов и усилению других, обуславливая перестройку системы внутренних связей между ландшафтными компонентами, каждый из которых затронут факторами трансформации и последствиями воздействия. В ПТГНМ происходит генерирование новых сочетаний биотических и абиотических условий, вызванных поллютантами – перемещением вещества, изменением водного, теплового и газогеохимического режимов. Перестройка системы внутренних связей приводит, в конечном счете, к разрушению исходной ландшафтной структуры (ее инварианта). Формируется новая целостность - природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения, частная категория природно-техногенных геосистем. Она обладает собственными эмерджентными свойствами и функциями, характеризуется собственными принципами формирования и развития, основным из которых является стадийность. Каждой стадии развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения соответствует определенный уровень техногенного воздействия на структурную организацию исходного ландшафта и функционально-динамические связи между его компонентами. Функционирование природно-техногенной геосистемы нефтегазового

месторождения эквивалентно в плане стадийно-последовательной смены природного инварианта ландшафта природно-техногенным.

На основе представленной модели развития природно техногенной геосистемы нефтегазового месторождения сформулированы концептуальные предложения по оптимизации степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа. Под оптимизацией ландшафтов понимаются процессы регулирования их состояния для максимально возможного усиления природного потенциала и роли экосистемных услуг при заданных условиях природопользования.

Учитывая, что возникновение реакций в ландшафте и перестройка исходных связей происходят в ходе воздействия техногенных потоков вещества и энергии, эффективным направлением оптимизации может быть снижение их объема и количества как движущей силы возникновения геоэкологических проблем в условиях нефтегазодобычи. Оптимизация ландшафтов иерархических рядов природно-техногенной геосистемы низких рангов приводит к оптимизации на более высоких иерархических уровнях, тем самым снижается острота геоэкологической проблемы.

Принципы оптимизации ландшафтов при разработке нефтегазовых месторождений - учет иерархической соподчиненности единиц природно-техногенной геосистемы, ее стадийности, итоговой глобальности эффекта оказываемых воздействий, невозможности рекультивации пост-нефтяных ландшафтов до исходного состояния.

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 - в 2-10 раз. Один из основных критериев оптимизации - неутраченные экосистемные услуги ландшафта.

В основе предложенной геоэкологической концепции оптимизации ландшафтов лежит приоритет экологической безопасности в системе «техногенная нагрузка на ландшафт - меры по его сохранению и восстановлению» с исключением геоэкологических проблем в границах природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения. В ходе реализации концепции при эксплуатации нефтегазовых месторождений предлагается руководствоваться тремя основными принципами: уникальности (специфичности) объекта оптимизации, геоинформационной обеспеченности и геоэкологической безопасности. Принципиальное решение вопроса оптимизации усматривается в полимасштабном районировании вплоть до уровня отдельных хозяйств и предприятий.

Первоочередные направления дальнейших исследований:

1. Более продолжительное и детализированное изучение механизмов функционирования природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения в степной зоне с подробным анализом связей, зависимостей, вещественно-энергетических потоков, сценариев поддержания баланса природной и техногенной составляющей. Каждый новый шаг в понимании принципов развития ПТГНМ будет способствовать совершенствованию подходов к оптимизации ландшафтов и переходу общества к более рациональному природопользованию.

2. Осознание новых глобальных вызовов в условиях системного кризисного развития выдвигает на первый план необходимость сопряженного анализа конкурирующих отраслей хозяйственной деятельности и природопользования – нефтегазодобычи и сельского хозяйства. Вычленение

стартовых, оптимальных и ключевых условий их совместного функционирования особенно значимы для разработки более природосообразных технологий и, в итоге, для сохранения ландшафтов степной зоны.

3. Взаимосвязь социально-экономических и геоэкологических процессов в различных регионах степной зоны, негативные тренды в их развитии, обозначившиеся расширениями зон техногенных пустошей, обезвоживания, водной и ветровой эрозии почв и иными широкомасштабными проявлениями, снижением качества жизни населения в районах Волго-Уральского степного региона обуславливают необходимость расширения ландшафтного планирования с учетом региональной и муниципальной специфики, выстраивания эффективных систем стабилизации геоэкологической обстановки в проблемных очагах и зонах.

4. В стратегическом плане оптимизация недропользования настоятельно требует совместного использования научных, образовательных и производственных технологий передачи новых знаний, умений и навыков управления ландшафтогенезом в условиях нефтегазодобычи.

5. Для реализации предлагаемых средств, методов и способов оптимизации степных ландшафтов в условиях нефтегазодобычи необходимо укрепление и совершенствование нормативно-правовой базы и ее строжайшее соблюдение в условиях реального производства.

## Список литературы

Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.

Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем: учебник / под ред. М.Ю. Доломатова, Э.Г. Теляшева. М.: Химия, 2002. 608 с.

Абросимов А.В., Беленов А.В., Брагин Е.А. Космический контроль недропользования и природопользования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 12. С. 38-42.

Агаханянц, П.Ф. Экологическая оценка фрагментации территории при проектировании дорожно-транспортных сетей. Автореф. на соиск. уч. ст. к.т.н. по спец. 03.00.16. СПб., 2003. 20 с.

Алексеева М.Н., Перемитина Т.О., Ященко И.Г. Методика выявления и картографирования высокотемпературных участков нефтедобывающих территорий Западной Сибири на основе спутниковых данных // Геоинформатика. 2015. № 3. С. 2-6.

Алиев И.М., Аржевский Г.Х., Дикенштейн В.А., Киров А.Э., Конторович С.П., Максимов и др. Нефтегазоносные провинции СССР. М.: Недра, 1977. 328 с.

Аналитический доклад по проблеме рационального использования попутного нефтяного газа в России // Публикация Всемирного фонда дикой природы (WWF). (Электронный ресурс). 2015: <http://new.wwf.ru/resources/publications/booklets/analiticheskiy-doklad-po-probleme-ratsionalnogo-ispolzovaniya-poputnogo-nefyanogo-gaza-v-rossii>.

Ананенков А.Г. Ставкин Г.П., Лобастова С.А., Хабибуллин И.Л. Экологические основы землепользования при освоении и разработке газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. 316 с.

Андреев О.П., Арабский А.К., Миронов В.В., Ярыгин Г.А., Вильчек Г.Е. и др. Стратегическая экологическая оценка как инструмент оптимизации программ

освоения нефтегазовых ресурсов (на примере Обско-Тазовской губы) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 4. С. 41-48.

Антипов А.Н., Макаров С.А., Семенов Ю.М., Семенов Ю.М. и др. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе: Ковыктинское газоконденсатное месторождение Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 159 с.

Анучин В.А. Основы природопользования. Теоретический аспект М.: Мысль, 1978. 294 с.

Апарин Б.Ф. Русаков А.В., Булгаков Д.С. Бонитировка почв и основы государственного земельного кадастра. СПб: Изд-во С-Петербур. ун-та., 2002. 88 с.

Арманд Д.Л. Нам и внукам. М.: Мысль, 1964. 183 с.

Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 288 с.

Астафуров В.Г., Евсюткин Т.В., Курьянович К.В., Скороходов А.В. Статистическая модель текстуры изображений различных типов облачности по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. № 10(4). С. 188-197.

Ахтырцева Н.И. О классификации антропогенных ландшафтов // Вопросы географии. Сб. 106. Влияние человека на ландшафт. М.: Мысль, 1977. С. 53-58.

Бакланов П.Я. Элементарные пространственные системы промышленного производства. М.: Наука, 1986. 150 с.

Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.

Банников А.Г., Вакулин А.А., Рустамов А.К., Банников А.Г. Основы экологии и охрана окружающей среды: учебник для с.-х. учеб. заведений / под ред. А.А. Вакулина. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1999. 304 с.

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.

Безродный Ю.Г. Разработка методов обеспечения охраны окружающей среды при проектировании и строительстве нефтегазовых скважин. Автореф. на соиск. уч. ст. д.т.н. по спец. 25.00.15. М., 2009. 44 с.

Белик И.С., Бурмакина Л.А., Выварец К.А., Стародубец Н.В. Эколого-экономическая безопасность: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 152 с.

Белоновская Е.А. Кренкемл А.Н., Тишков А.А., Царевская Н.Г. Природная и антропогенная фрагментация растительного покрова Валдайского поозерья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 5. С. 67-82.

Бериев О. Г., Тезиев Т. М. Оценка загрязнения окружающей среды и онкозаболеваемости населения Республики Северная Осетия-Алания // Санкт-Петербург. 2018. С. 67.

Бессонова Т.Н. Основные направления экологосбалансированной структурной перестройки экономики // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. Т. 2. №. 1. С. 138-143.

Боков В.А., Селиверстов Ю.П., Черванев И.Г. Общее землеведение. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1998. 268 с.

Бондарчук В.Г. Основы геоморфологии. М.: Гос. учеб.-педагогич. изд-во М-ва Просвещения РСФСР, 1949. 320 с.

Борисенков Е П. Климат и деятельность человека. М.: Наука, 1982. 138 с. (Электронный ресурс) <https://libking.ru/books/sci-geo/594260-33-evgeniy-borisenkov-klimat-i-deyatelnost-cheloveka.html#book>.

Борисюк Н.К. Нефть и экономика: монография. М-во образования и науки РФ; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т». М: Экономика, 2009. 338 с.

Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Еремеев А.В., Свидрицкая М.А., Хамедов В.А. Оперативный мониторинг пожарной обстановки в технологических коридорах магистральных трубопроводов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 438-442.

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.

Булатов В.И. Системный подход в антропогенном ландшафтоведении // Вопросы антропогенного ландшафтоведения. Воронеж, 1972. С. 88-96.

Булатов В.И., Игенбаева Н.О. Техногенные ландшафты и геотехнические системы нефтегазового региона (на примере ХМАО-Югры) // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: сб. материалов XIII Междунар. ландшафтной конф. / ред. В. Б. Михно и др. Воронеж: ИСТОКИ, 2018. С. 306-308.

Булатов В.И., Игенбаева Н.О., Кузьменков С.Г., Исаев В.И., Аюпов Р.Ш. Эколого-географическая проблематика нефтегазового комплекса России в системе мегаэкологии // География и природные ресурсы. 2020. № 1. С. 33 -40.

Булуктаев А.А. Изменение солевого состава почв черных земель при нефтяном загрязнении // Юг России: экология, развитие. 2018. №. 2. С.101-110.

Васильев А.А., Матвеев Н.И., Лукиных В.Б., Аликин В.Н. Экологические технологии нефтедобывающих компаний Западной Сибири // ЭКиП: Экология и промышленность России. 2004. № 5. С. 16-19.

Вернадский В.И. Размышления натуралиста: в 2 кн. Научная мысль как планетарное явление: кн. 2. М.: Наука, 1977. 192 с.

Вовк Е.В. Радиус воздействия нефтяных скважин на прилегающие экосистемы // Современные проблемы геодезии и оптики: междунар. научно-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА-НИИГАиК: тез. докл. Новосибирск, 1998. С. 248.

Водный Кодекс РФ: ст. 65 «Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы». (Электронный ресурс): <http://vodnkod.ru/#vkrf>.

Воеводина Т.С., Русанов А.М., Васильченко А.В. Влияние нефти на химические свойства чернозема обыкновенного Южного Предуралья // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2015. № 10(185). С. 157-160.

Воронов А.М., Цвирко О.В. Оренбуржье на подъеме. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1975 г. 230 с.

Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Органические вещества: в трех томах / под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. Изд. 7-е, пер. и доп. Т. 1. Л.: Химия, 1976. 592 с.

Габбасова И.М. Деградация и рекультивация почв Башкортостана. Уфа: Гилем, 2004. 284 с.

Гаев А.Я., Альбакасов Д.А., Малкин А.В., Клейменова И.Е., Беликова Н.Г. Процессы техногенеза в районах добычи и переработки нефти и газа // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 5. С. 39-41.

Гаев А.Я., Савилова Е.Б. Об обеспечении экологической безопасности водозаборов хозяйственно-питьевого назначения нефтедобывающих районов Оренбуржья // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 2. С. 294-305.

Гагаева З.Ш. Ландшафтная структура и мелкомасштабное ландшафтное картографирование территории Чеченской Республики (на основе дистанционной съемки). Автореф. на соиск. уч. ст. к.г.н. по спец. 25.00.36. Москва, 2004. 24 с.

Гареев А.М., Шакиров А.В. Природная среда и нефтегазовый комплекс Башкортостана. Географо-экологические аспекты взаимодействия. Уфа: Китап, 2000. 220 с.

Гашев, С. Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области). Тюмень: Изд-во ТГУ, 2000. 220 с.

Географический атлас Оренбургской области / А.А. Чибилёв, В.П. Петрищев, А.И. Климентьев, Г.Д. Мусихин и др.; науч. ред. и сост. А.А. Чибилёв. М.: Изд-во «ДИК»; Оренбург: Оренбург. кн. изд-во, 1999. 95 с.

Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области / под ред. Пантелеева А.С., Козлова Н.Ф. Оренбург: Оренб. кн. изд-во, 1997. 270 с.

Геология нефти и газа: учебник для вузов / Э.А. Бакиров, В.И. Ермолкин, В.И. Ларин, А.К. Мальцева, Э.Л. Рожков; под ред. Э.А. Бакирова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 245 с.

Геоситуационный подход в географии / под ред. А.М. Трофимова. Казань: Изд-во Каз. гос. ун-та. 1993. 47 с.

Геоэкология и природопользование. Понятийно-терминологический словарь / авт.-сост. В.В. Козин, В. А. Петровский. Смоленск: Ойкумена, 2005. 576 с.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. Антропогенные почвы. М., 2003. 268 с.

Главы пяти нефтяных компаний обратились с письмом к Путину // Тэкто://блог. 2015. (Электронный ресурс): <https://teknoblog.ru/2015/02/17/33274>.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.

Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биохимические циклы. М.: Наука, 1976. С. 22-27.

Глазьева А.Б. Геоэкологическая оценка влияния нефтегазоносного хозяйства на окружающую среду Воронежской области. Автореф. на соиск. уч. ст. к.г.н. по спец. 25.00.36. Воронеж, 2003. 24 с.

Гольчикова Н.Н., Зорина О.Я. Комплексный подход к эколого-геологическому районированию территории астраханского региона // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 170-172.

Гольчикова Н.Н., Калягин С.М., Абуталиева И.Р. Региональные аспекты инженерно-геологической оптимизации размещения объектов нефтегазовой отрасли на территории Астраханского Прикаспия // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 202-205.

Горин Н.В., Волошин Н.П., Шмаков Д.В., Головихина О.С. Можно ли примирить энергетику и экологию? // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: сб. труды VII Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, Уральский гос. горный ун-т. 2019. С. 63-69.

Города и районы Оренбургской области: статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области. Оренбург. 2007. 275 с.

Города и районы Оренбургской области: статистический сборник // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области. Оренбург. 1999. 236 с.

Города и районы Оренбургской области: статистический сборник // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области. Оренбург. 2005. 298 с.

ГОСТ 17.5.1.01-83 (СТ СЭВ 3848-82) Межгосударственный стандарт: Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 18 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2006 году. Москва, 2007. 238 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2009 году. Москва, 2010. 249 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2012 году. Москва, 2013. 252 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году. Москва, 2016. 206 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2018 году. Москва, 2019. 198 с.

Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области в 2017 году». Оренбург, 2018. 246 с. (Электронный ресурс): [http://56.rospotrebnadzor.ru/docs/documents/gosdoklad/gos\\_doklad\\_2017.pdf](http://56.rospotrebnadzor.ru/docs/documents/gosdoklad/gos_doklad_2017.pdf).

Грачев В.А., Ахметганов С.М. Основные экологические проблемы нефтегазового комплекса России // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: сб. докл. Междунар. экол. конгр. СПб., 2000. Т. 1. С. 418-421.

Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2006. № 11. С. 83-92.

Грин А.М., Ключев Н.Н., Мухина Л.И. Геоэкологический анализ // Известия РАН. Серия: География. 1995. № 3. С. 21-30.

Гумилев Л.Н. Ритмы Евразии: Эпохи и цивилизации. М.: Прогресс: Фирма "Пангея", 1993. 575 с.

Гуля А. Н., Колбовский Е. Ю., Гайрабеков У. Т. Картографо-геоинформационное обеспечение устойчивого развития горных регионов // ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2019. Т. 25. №. 1. С. 47-65.

Даукаев А. А., Мусхаджиев М. Б. Исследование влияний особенностей геологического строения на эффективность применения методов интенсификации добычи нефти на примере Терско-Сунженской нефтегазоносной области (ТСНО) // Наука и бизнес: пути развития, 2018. №5(83). С. 108-111.

Двуреченский В.Н. Физико-географические особенности и ландшафтная структура горнопромышленных комплексов Воронежской и Липецкой областей. Автореф. на соиск. уч. ст. к.г.н. по спец. 25.00.23. Воронеж, 1974. 16 с.

Дебелая И.Д., Кочережко Е.А. Геоэкологический анализ – эффективный метод оценки экологического состояния территории в районах добычи минерального сырья // Вестник ТОГУ. 2009. №. 2. С. 15.

Дегтярев Г.М., Носов В.Н., Шпаков П.Д. Масштабная инвариантность процессов самоорганизации и саморегуляции в природе и обществе. Санкт-Петербург: Астерион, 2012. 184 с.

Демьяненко А.Н. Развитие России глазами страноведа (о книге А. И. Трейвиша «Город, район, страна и мир») // Пространственная экономика. 2010. №. 3. С. 155-172.

Джамбетова П. М., Молочаева Л. Г., Махтиева А. Б., Сычева Л. П. Оценка влияния загрязнения почв нефтепродуктами на цитогенетический статус и показатели апоптоза в клетках буккального эпителия у детей // Экологическая генетика, 2009. №7(4). С. 34-40.

Добринский В.Ф., Сосин Н.Л. Опыт оценки влияния обустройства Бованенковского газоконденсатного месторождения в районе Среднего Ямала на динамику численности песка // Экология. 1995. № 3. С. 227-231.

Добыча нефти в Волгоградской области // OG News. (Электронный ресурс): <http://oilgasnews.ru/news/78-dobyicha-nefti-v-volgogradskoj-oblasti>.

Доклад первого заместителя Председателя Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, д.т.н. И.И. Никитчука на IV Международной научно-практической конференции «Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов» и на Всероссийском форуме «Экология и природопользование 2016» // VIPERSON/ВИПЕРСОН. Екатеринбург, 2016. (Электронный ресурс): <http://viperson.ru/articles/iv-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-ekologicheskaya-i-tehnosfernaya-bezopasnostgornopromyshlennyh-regionov-i-vserossiyskiy-forum-ekologiya-i-prirodopolzovanie-2016>

Дончева А.В. Функционально-динамические ряды техногенно измененных природных комплексов // Вопросы географии. Сб. Влияние человека на ландшафт. 1977. С. 83-90.

Дьяконов К.Н. Антропогенные ландшафты и геотехнические системы // Антропогенные ландшафты Центральных Черноземных областей и прилегающих территорий: сб. материалов 2-й регион. конф. Воронеж, 1975. С. 61-73.

Дьяконов К.Н. Физико-географический анализ зон влияния гидротехнических систем (на примерах водохранилищ ГЭС и осушительных мелиораций лесной зоны). Автореф. на соиск. уч. ст. д.г.н. по спец. 25.00.23. М., 1984. 52 с.

Елсаков В.В. Спутниковая съемка в экологическом мониторинге регионов добычи углеводородов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 133-139.

Емельянов А.Г. Комплексный геоэкологический мониторинг: учеб. пособие. Тверь: ТГУ, 1994. 88 с

Еремин М.Н. Прогноз, оценка и управление авариями на трубопроводном транспорте. Оренбург: Изд-во ОГУ, 2000. 222 с.

Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Платончева Е.В. Методические подходы к мониторингу процессов эрозии на сельскохозяйственных землях европейской

части России с помощью материалов космических съемок // Ученые записки Казанского Университета: Серия Естественные науки. 2017. №159 (4). С. 668-680.

Ермолаев О.П., Рысин И.И., Голосов В.Н. Картографирование овражной эрозии на востоке Русской равнины // Геоморфология. 2016. № 2. С. 38-51

Ефимова О.Ю. Оценка экономической эффективности инноваций в нефтегазодобыче // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2011. № 3. С. 336-346.

Жаворонкова Н.Г. Краснова И.О. Земельное право: учебник для СПО / под ред. Н.Г. Жаворонковой, И.О. Красновой. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 580 с.

Жиров А.И. Теоретические основы геоэкологии. СПб.: СПбГУ, 2001. 377 с.

Заалишвили В. Б., Бекузарова С. А., Бурдзиева О. Г., Мажиев А. Х., Мажиев А. Х. Способ восстановления загрязненных нефтью земель. Патент на изобретение RU 2620658 С1, 29.05.2017. Заявка №2016113624 от 08.04.2016.

Забураева Х. Ш., Газалиев И. М. К проблеме углеводородного загрязнения земель в регионах Северо-Восточного Кавказа // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. №. 2. С. 43-48.

Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 1. С. 12-26.

Закруткин В.Е., Рышков М.М., Барцев О.Б., Холодков Ю.И. Локальный экологический мониторинг ареалов техногенного загрязнения природной среды нефтью (концепция, методика, результаты) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 1996. № 3. С. 29.

Залиханов М. Ч., Степанов С. А. Технологические и политические аспекты современной экологической политики России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2010. №. 5. С. 116-120.

Заурбеков Ш. Ш. Ландшафтная карта как основа для геоэкологического мониторинга территории (на примере Чеченской Республики) // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2012. №. 1. С. 49-53.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012. № 4(53). Т. 18. С. 5-12.

Зотов С.И., Десятков В.М. Результаты мониторинга геоэкологических последствий нефтепоискового бурения и добычи нефти в районе верхового болота Целау (Правдинское) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 8. С. 65-73.

Иванов В.В. Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии. Новосибирск: Наука, 2015. 248 с.

Ивашкина И.В., Кочуров Б.И. Урбоэкодиагностика и сбалансированное развитие Москвы: монография. М.: ИНФРА-М, 2017. 203 с.

Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты) / под ред. С. Н. Бобылева, П. А. Макеенко. М.: ЦПРП, 2001. 220 с.

Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.

Исаченко А.Г. Оптимизация природной среды (географический аспект). М.: Мысль, 1980. 264 с.

Казаков Л.К. Устойчивость и динамика ландшафтов как факторы природопользования // Рациональное природопользование: теория, практика, образование. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 40-50.

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

Керимов И.А., Уздиева Н.С. Геоэкология нефтяного комплекса Чеченской Республики. Назрань : Пилигрим, 2008. 249 с.

Киреенко В.П. Экономика природопользования: учеб.-метод. Минск: ГИУСТ БГУ, 2015. 254 с.

Кирюшин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В., Пузанова Т.А., Уваров С.А. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!». Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания

попутного нефтяного газа в России М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2013. 88 с.

Киселев В.В. Промышленность. Достижения и перспективы // Орденосное Оренбуржье. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1968 г. С. 212-216.

Книга нефти: месторождение Бобровское. 2017. (Электронный ресурс): <http://kniganefiti.ru/field.asp?field=174>.

Козин В.В. Ландшафтные исследования в нефтегазоносных районах: учебное пособие. Тюмень, 1984. 60 с.

Козин В.В., Чихарев В.А. Пространственная сопряженность элементов газотранспортной геотехнической системы в криотозолине Западной Сибири // Вестник Тюменского гос. ун-та: Науки о Земле. 2013. №. 4. С. 41-49.

Козлитин А.М. Анализ экологических рисков линейной части магистральных нефтепроводов районного управления // Экология и промышленная безопасность магистральных трубопроводов: межвуз. науч. сб. Саратов: Изд-во СГТУ, 2000. С. 89-105.

Колданов В.Я. Степное лесоразведение. М.: Лесная промышленность, 1967. 222 с.

Колесников Б.П., Моторина Л.В. Проблемы оптимизации техногенных ландшафтов // Современное состояние и перспективы развития биогеоэкологических исследований. Петрозаводск, 1986. С. 80-100.

Кононов В.М., Кононова Н.Д. Земледелие и экологизация землепользования на Южном Урале поиски компромисса // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2014. № 2. С. 17-21.

Концепция сбалансированного природопользования // Ленинград: комитет по охр. природы Ленинграда и Ленинградской обл. 1990. 16 с.

Корниенко С.Г. Особенности трансформации растительности на территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 394-399.

Кострин К.В. Одно из первых сообщений о нефтеносности Урало-Поволжья» // Нефть и газ. 1963. № 2. С. 123-125.

Кочуров Б.И. Геоэкологическое прогнозирование // География в школе. 2004. № 1. С. 3-8.

Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.-Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.

Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Экосистемы современной дельты Хуанхэ на разных этапах её формирования: исследование по космическим снимкам // Геоинформатика. 2016. № 4. С. 56-66.

Красная книга Оренбургской области / под ред. А. С. Васильева. Оренбург: Оренбург. книжное изд-во, 1998. 176 с.

Красная книга Российской Федерации. Животные / РАН; гл. редкол.: В.И. Данилов-Данильян и др. М.: АСТ, Астрель, 2001. 862 с.

Краснов Е.В. Барина Г.М., Романчук А.Ю. Геоэкологические принципы регионального землепользования в свете концепции сбалансированного развития // География и геоэкология: проблемы науки, практики и образования: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. М.: ИИУ МГОУ, 2016. С. 91-99.

Краснов Е.В., Романчук А.Ю. Основы природопользования: учеб. пособие. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2009. 190 с.

Красноштанова Н.Е. Экологические аспекты развития нефтегазодобывающей промышленности в Иркутской области // Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург-Бузулук. Т. 2. 2017. С. 14-17.

Крылов Н.А., Батулин Ю.Н. Геолого-экономический аспект рационального освоения ресурсов нефти // Геоэкология нефти и газа. 1989. № 10. (Электронный ресурс): <http://www.geolib.ru/OilGasGeo/198910content.html>

Кудайкулова Г.А. Анализ методов обработки, утилизации и размещения отходов бурения в казахстанском секторе Сев. Каспия // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: сб. материалов докл. Междунар. эколог. конгр. СПб.: Изд-во БГТУ, 2000. С. 560-562.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2004. 352 с.

Кулик К.Н. Концепция адаптивного природопользования на юге России // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Всеросс. науч.-исслед. ин-та орошаемого земледелия. Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. С. 29-36.

Куражковский Ю.Н. Очерки природопользования. М.: Мысль, 1969. 272 с.

Лапина С.Н., Полянская Е.А., Фетисова Л.М. Способность атмосферы различных районов Саратовской области к самоочищению // Известия Саратов. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2008. Т. 8. Вып. 2. С. 8-11.

Левыкин С. В., Казачков Г. В., Петрищев В. П., Семенов А. Н. Эколого-экономические последствия освоения целинных и залежных земель в 1954-1963 гг. с позиций современного степеведения // Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2008. С. 241-246.

Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология: учеб. пособие для географ. специальностей вузов. М.: Высшая Школа. 1979. 287 с.

Лопатин К.И. Методология оптимизации структуры природно-технических систем районов нефтедобычи на примере центра Западной Сибири. Автореф. на соиск. уч. ст. д.т.н по спец. 25.00.36. СПб., 2007. 21 с.

Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1999. 345 с.

Макаров В.З., Молочко А.В., Фролов В.А., Чумаченко А.Н. Моделирование факторов пожароопасной ситуации на нефтесборных пунктах с использованием геоинформационных технологий // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. № 9(1). С. 32-37.

Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Бышов С.Н., Носков А.Б., Фролов В.А. и др. Применение геоинформационных технологий в ОАО «Саратовнефтегаз» // Территория нефтегаз. 2007. №2. С. 16-21.

Мамай И.И. Динамика ландшафтов (методика изучения). М.: Изд-во МГУ. 1992. 167 с.

Мартазинова, В.Ф., Тимофеев В.Е. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в северном и южном полушарии и региональные климатические особенности в атлантико-европейском секторе и районе антарктического полуострова // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. №. 3. С. 80.

Махмудова Л. Ш., Ахмадова Х. Х., Хадисова Ж. Т., Абдулмежидова З. А., Пименов А. А., Красников, П. Е. Производство низкозастывающих дизельных топлив на российских НПЗ: состояние и перспективы // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. общества им. Д.И. Менделеева), 2017. Т.61(1), С.3.

Месторождения полезных ископаемых: Саратовская область // Каталог Минералов. Ru. 2018. Электронный ресурс: [http://www.catalogmineralov.ru/deposit/saratovskaya\\_oblast](http://www.catalogmineralov.ru/deposit/saratovskaya_oblast)

Методы экспертных оценок // PVSM.RU. 2017. Электронный ресурс: <http://www.pvsm.ru/matematika/41072>.

Милюков Ф.Н. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224с.

Мокроносов А.Т. Фотосинтез и изменение содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере // Природа. 1994. № 7. С. 25-27.

Молявко Г.И., Франчук В.П., Куличенко В.Г. Геологи. Географы. Биографический справочник. Киев: Изд-во: Наукова думка, 1985. 352 с.

Мордкович В.Г., Гиляров А.М., Тишков А.А., Баландин С.А. Судьба степей. Новосибирск. 1997. 208 с.

Москвич Т.И. Способ обработки данных дистанционного зондирования спутников серии NOAA. Методика определения заснеженности речных бассейнов по спутниковым данным // Труды ФГБУ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт. 2009. № 153. С. 55-57.

Московченко Д.В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и

проблемы экодиагностики. Автореф. на соиск. уч. ст. д.г.н. по спец. 25.00.23. СПб., 2010. 34 с.

Моторина Л.В., Овчинников В.А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975. 240 с.

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

Мячина К.В. Геоэкологические аспекты оптимизации степных ландшафтов в условиях разработки нефтегазовых месторождений. М.: Медиа-Пресс, 2020. 216 с.

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.

Мячина К.В. К анализу трансформации степных ландшафтов в зонах нефтедобычи на основе данных дистанционного зондирования // Известия ОГАУ. 2015. №6 (56). С.180-183.

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.

Мячина К.В. Тепловое загрязнение степных ландшафтов Урало-Заволжья в районах нефтегазодобычи: анализ на основе спутниковых данных // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2017. Т. XXVIII, №5. С.44-56.

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.

Мячина К.В., Дубровская С.А. Оценка трансформации ландшафтов нефтегазодобывающих районов Оренбургского Приуралья на основе применения

статистических методов // Вестник Тюменского гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. № 3. 2009. С. 58-65.

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

Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В. Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны // Региональные геосистемы. 2020. № 44(3). С. 283-294.

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

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. №15, С. 3-7.

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.

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.

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. 2017. Т. 474, № 6, С. 741–745.

Неверов А.В., Варапаева О.А. Стоимостная оценка экосистемных услуг и биологического разнообразия // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. 2013. №. 7. С. 95-100.

Нельзя позволять нефтяному бизнесу зарабатывать на разрушении природы // Зеленый мир. Экология: проблемы и программы / Экологическое досье мира и России. 2019. (Электронный ресурс): <http://zmdosie.ru/zelenye/trebovaniya/4957-nelzya-pozvolyat-neftyanomu>.

Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Оренбургский научный центр УрО РАН. Екатеринбург: УрО РАН. 2015. 185 с.

Нестеренко Ю.М. Проблемы геодинамической безопасности при эксплуатации месторождений углеводородов. // Литосфера. 2012. № 2. С. 173-177.

Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю. Подземные воды Южного Предуралья и их гидродинамика в районах добычи углеводородов. // Литосфера. 2017. № 2. С. 125-138.

Нефтегазовые месторождения: Волгоградская область. // Нефтяники. Нефть и газ. 2017. (Электронный ресурс): [http://www.nftn.ru/oilfields/russian\\_oilfields/volgogradskaja\\_oblast/45](http://www.nftn.ru/oilfields/russian_oilfields/volgogradskaja_oblast/45)

Нефтегазовые месторождения: Саратовская область. // Нефтяники. Нефть и газ. 2017. (Электронный ресурс): [http://www.nftn.ru/oilfields/russian\\_oilfields/saratovskaja\\_oblast/54](http://www.nftn.ru/oilfields/russian_oilfields/saratovskaja_oblast/54)

Нефть и газ Саратовской области. // Безформата. 2017. (Электронный ресурс): <http://www.saratov.bezformata.ru/listnews/neft-i-gaz-saratovskoj-oblasti/6210398>

Нефтяная промышленность Самарской области - курс на интенсивное развитие // Информационно-аналитическое издание «Время». 2017. (Электронный ресурс): <http://www.time-samara.ru/article/43676.html>

Нечаева Е.Г., Давыдова Н.Д., Щетников А.И., Кузьмин В.А., Напрасникова Е.В., Семенова Л.Н. Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. Новосибирск: Наука, 2004. 184 с.

Нечаева Л.К. Экологические последствия пожаров нефти и нефтепродуктов // Химическая физика процессов горения и взрыва: сб. материалов докл. XII симпозиума по горению и взрыву. Черноголовка, 2000. Ч. 3. С. 175-176.

Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов М.: Изд-во Московского ун-та, 1978. 62 с. (Электронный ресурс): [http://www.landscape.edu.ru/book\\_nikolaev\\_1978.shtml#03](http://www.landscape.edu.ru/book_nikolaev_1978.shtml#03).

Николаев В.А. Ландшафты азиатских степей. 1999. М. : Изд-во Моск. ун-та. - 285 с.

Новосергиевский район, Оренбургская область. // Оренбургская область. 2016. (Электронный ресурс): <http://www.orenobl.ru/raion/novosergievsky.php>.

О признании утратившими силу нормативных правовых актов и отдельных положений нормативных правовых актов Российской Федерации, об отмене некоторых актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю при осуществлении всех видов федерального государственного контроля (надзора) в области природопользования и охраны окружающей среды: постановление правительства РФ от 22 июля 2020 г. № 1086 // Собрание законодательства. 2020. 9 с.

О промышленном производстве в январе-сентябре 2016 г. // Федеральная служба государственной статистики. 2017. (Электронный ресурс): [http://www.gks.ru/bgd/free/B04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/209.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/209.htm).

Олдак П.Г. Сохранение окружающей среды и развитие экономических исследований. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1980. 160 с.

Оптимизация в культуре осуществлялась без учета социальных нормативов. // Справочник руководителя Учреждения культуры. 2016. (Электронный ресурс): <https://www.cultmanager.ru/news/3916-optimizatsiya-v-kulture-osushchestvlyalas-bez-ucheta-sotsialnyh-normativov>

Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 336 с.

Орлова И.В. Ландшафтно-агроэкологическое планирование территории муниципального района. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2014. 256 с.

Орлова И.В. Методика ландшафтного планирования сельскохозяйственного природопользования // Экологический анализ региона (теория, методы, практика): сб. науч. тр. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 225-232.

Осипов В.И. Адаптационный принцип природопользования // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 5. С. 3-12.

Основные показатели социально-экономического положения муниципальных образований // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области. База данных показателей муниципальных образований. 2017. (Электронный ресурс): [http://orenstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/orenstat/ru/municipal\\_statistics/main\\_indicators](http://orenstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat/ru/municipal_statistics/main_indicators).

Оценка воздействия на окружающую среду при разработке нефтяных и газовых месторождений ОАО «Оренбургнефть»: отчет о НИР / Семячков А.И. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2010. 94 с. № ГР 680766688. Инв. № БО54137.

Петров К.М. Геоэкология: Основы природопользования. Санкт-Петербург. гос. ун-т, Рос. фонд фундам. исслед. СПб.: Б. и., 1994. 214 с.

Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Ю. И. Пиковский, // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132-1140.

Плачкова С.Г., Плачков И.В., Дунаевская Н.И., Подгуренко В.С., Шилиев Б.А. и др. История открытия и использования нефти и газа, и их происхождение. Энергетика. История, настоящее и будущее. Кн.1. От огня и воды к электричеству. 2012-2013. (Электронный ресурс): <http://www.energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-8/8-1>.

Поздеев В.Б. Географическая концепция региональной геоэкологии. Автореф. на соиск. уч. ст. д.г.н. по спец. 25.00.36. Смоленск, 2006. 31 с.

Полищук Ю.М., Токарева О.С. Картографирование экологических рисков воздействия нефтедобычи на растительный покров с использованием спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 269-274.

Полякова А.В. Изучение последствий аварии нефтепровода для микробиоценоза почвы // Науч. тр. Междунар. биотехнолог. центра Московского гос. ун-та им. М. В. Ломоносова. Москва, 2004. С. 179-180.

Полян П. М., Трейвиш А. И. Территориальные структуры в науке и практике. М.: Знание, 1988. 46 с.

Посевные площади сельскохозяйственных культур // ЕМИСС. Государственная статистика (Электронный ресурс). 2020: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328>.

Преображенский В.С. Поиск в географии. М.: Просвещение, 1986. 223 с.

Природа, техника, геотехнические системы / под ред. В.С. Преображенского. М.: Наука, 1978. 151 с.

Природопользование в территориальном развитии современной России / под ред. И.Н. Волковой, Н.Н. Ключева. М.: Медиа-Пресс, 2014. 360 с.

Проблема попутного газа // Публикация Всемирного фонда дикой природы (WWF). 2017. (Электронный ресурс): <http://new.wwf.ru/what-we-do/green-economy/the-problem-of-associated-gas>.

Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года / Мин-во энергетики Российской Федерации. Москва, 2016. 112 с.

Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 г. // Министерство экономического развития Российской Федерации, 2018. 47 с. (Электронный ресурс): <http://economy.gov.ru/minrec/about/structure/depmacro/201828113>.

Промышленность Оренбургской области // Оренбуржье. Портал Правительства Оренбургской области. 2017. ([Электронный ресурс]: <http://www.orenburg-gov.ru/Info/Economics/Industry/prom>.

Промышленный комплекс Оренбургской области. Нефтегазовая отрасль 2017. (Электронный ресурс): <http://www.orenburg-gov.ru/Info/Economics/Industry>

Пузаченко Ю.Г. Общие основания концепции устойчивого развития и экосистемных услуг // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 3. С. 22-39.

Региональное и муниципальное управление социально-экономическим развитием в Сибирском федеральном округе / под ред. А. С. Новоселова. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2014. 400 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. М.: «Мысль», 1990. 639 с.

Ретеюм А. Ю. Теоретические и научно-организационные вопросы природопользования // Природопользование и охрана ландшафтов. М.: МФГО СССР, 1981. С. 11-21.

Ретеюм А.Ю., Дьяконов К.Н., Куницын Л.Ф. Взаимосвязь техники с природой и геотехнические системы. // Известия АН СССР. Сер. Географическая. 1972. № 4. С. 46-55.

Родоман Б. Б. Поляризованная биосфера: сборник статей. Смоленск: Изд-во «Ойкумена», 2002. 336 с.

Русанов Ю. В. Метеорологические условия загрязнения атмосферы над Томской областью // География и природные ресурсы. 1992. № 3. С. 60-65.

Свищев М.Ф. Закономерности размещения залежей нефти в Оренбургской области // Геология и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург, 1970. С. 68-75.

Селегей Т.С., Зинченко Г.С., Безуглова Н.Н. Учет метеорологического потенциала самоочищения атмосферы при решении задач промышленного освоения территорий // Ползуновский вестник. 2005. № 4. С. 119-121.

Семёнов Ю. М. Ландшафтное планирование как инструмент выявления и идентификации рисков природопользования. // Проблемы анализа риска. 2015. № 12(5). С. 86-93.

Семёнов Ю.М., Бабин В.Г., Кочеева Н.А., Шитов А.В., Журавлева О.В. и др. Экологически ориентированное планирование землепользования в Алтайском регионе. Кош-Агачский район. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2013. 131 с.

Скляренко Г.Ю., Закруткин В.Е., Родина А.О. Экологический ущерб, нанесенный недропользованием, и его экономическая компенсация (на примере Ростовской области) // Актуальные проблемы наук о Земле : сб. тр. II науч. конф. студентов и молодых ученых с междунар. Участием. Южный федеральный университет. 2016. С. 460-463.

Слащева А.В. Почвенно-геохимическая оценка территории нефтяного месторождения в Среднем Приобье // Вестн. Моск. ун-та. 2003. № 3. С. 27-33.

Соколов В.А. Нефть. М.: Недра, 1970. 384 с.

Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.

Соромотин А.В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи (на примере Тюменской области). Автореф. На соиск. уч. ст. д.б.н. по спец. 03.00.16. Тюмень, 2007. 48 с.

Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Западной Сибири // Антропогенная трансформация природной среды. 2014. № 1. С. 30-34.

Сочава В.Б. Исходные положения типизации земель на ландшафтно-географической основе. // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1967. № 16. С. 18-31.

Спиридонов А.И. О классификации антропогенного рельефа / Климат, рельеф и деятельность человека: тезисы докл. Всесоюзного совещания: Часть I. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1978. С. 46–54.

Становой В.В., Еремина Т.Р., Карлин Л.Н., Исаев Д.И., Неелов И.А., Ванкевич Р.Е. Оперативно-прогностическое моделирование распространения нефтяных загрязнений в Финском заливе // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 151-169.

Судо М.М., Казанкова Э.Р. Энергетические ресурсы. Нефть и природный газ. Век уходящий. Россия в окружающем мире // Аналитический ежегодник. 1998. № 2. С. 1-10.

Счетная палата проверила оптимизацию в сфере здравоохранения, культуры, образования и социального обслуживания // Псковский совет профессиональных союзов. 2015. (Электронный ресурс): <http://www.sovprofpskov.ru/archives/22865>.

Сысуев В.В. Об «оптимизации» ландшафтов. // Вестник Московского гос. ун-та. Серия 5. География. 2015. № 4. С. 35-41.

Тарасова Н.П., Кручина Е.Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития. // Refdb.ru. 2017. (Электронный ресурс): <https://refdb.ru/look/1032414-pall.html>.

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области // Статистика (Электронный ресурс). 2020: <https://volgastat.gks.ru>

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области // Статистика (Электронный ресурс). 2020: <https://orenstat.gks.ru>

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области // Статистика (Электронный ресурс). 2020: <https://srtv.gks.ru>

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан // Статистика (Электронный ресурс). 2020: <https://tatstat.gks.ru>

Тишков А.А. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России. // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 1(41). С. 5-15.

Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. 2005. М.: Наука. 309 с.

Трейвиш А.И. Географическая полимасштабность развития России: город, район, страна и мир. Автореф. на соиск. уч. ст. д.г.н. по спец. 25.00.24. М., 2006. 50 с.

Трофимец Л.Н., Тарасов А.В. Метеорологический потенциал атмосферы в изменяющихся условиях увлажнения // Ученые записки Орлов. гос. ун-та. 2009. № 2(32). С. 168-175.

Трофимов А.М. Проблемы научного поиска в географии // Известия АН СССР. Серия Географическая. 1988. № 5. С. 98-106.

Трофимов А.М., Рубцов В.А., Ермолаев О.П. Региональный геоэкологический анализ: Учебное пособие. Казань, 2009. 426 с.

Трофимов А.М., Рубцов В.А., Краснов Е.В., Шабалина С.А. О целостности, единстве и целевой установке современной географии // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. Вып.1. С. 8-15.

Трофимов С.Я., Розанов М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // Деградация и охрана почв. М.: МГУ, 2002. С. 359-375.

Труфанова Г.А. Комплексная система сбора, переработки и утилизации нефтесодержащих отходов // Экология и промышленность России. 2003. № 3. С. 20-22.

Федеральное агентство по недропользованию «Роснедра»: единое окно доступа к информационным ресурсам. 2017. (Электронный ресурс): <https://www.sobr.geosys.ru/?ctrl=GisSOBR>.

Фёдоров Г. М. Регион как территориальная система // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2010. № 1. С. 20-27.

Федотов В. И. Классификация техногенных ландшафтов: сб. науч. трудов // Прикладные аспекты изучения современных ландшафтов. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1982. С. 130-143.

Филатов А.В., Евтюшкин А.В., Васильев Ю.В. Многолетний геодинамический мониторинг нефтегазовых месторождений Западной Сибири методом спутниковой радиолокационной интерферометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 39-47.

Хаггетт П. География: синтез современных знаний / пер. с англ. Л.Н. Кудряшевой; ред. В.М. Гохмана и др.; предисл. Л.Р. Серебрянного. М.: Прогресс, 1979. 684 с.

Хайретдинов Р.Ш. Геология нефти и газа: учебное пособие. Альметьевск: Альметьевский гос. нефтяной ин-т, 2009. 108 с.

Хорошавин, В. Ю. Техногенная трансформация гидрологического режима и качества вод малых рек нефтегазовых месторождений в бассейне Пура: диссертация.... канд. географ. наук. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ. 2005. 25 с.

Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: ООО ТНИ КМК, 2016. 416 с.

Хорошев А.В., Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н., Иванов А.Н., Калуцков В.Н., Матасов В.М. и др. Теория и методология ландшафтного планирования / отв. ред. К.Н. Дьяконов, А.В. Хорошев. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2019. 444 с.

Цветков В.Я. Информационные модели и геоинформационные модели // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 4(16). С. 114-120.

Цены на нефть по годам // Все банки России: банковские новости, обзор новых банковских продуктов (депозиты, кредиты), курсы валют и металлов. 2017. (Электронный ресурс): <http://www.citizensbankdelphos.com/2014-09-13-ceny-na-neft-po-godam.html>.

Чибилёв А.А. Введение в геоэкологию (эколого-географические аспекты природопользования). Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 124 с.

Чибилёв А.А. Мячина К.В. Геоэкологические последствия нефтегазодобычи в Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 134 с.

Чибилёв А.А. Природное наследие степей Евразии: Проект Русского географического общества «Степной мир Евразии»: атлас-альбом. Оренбург: РГО; Институт степи РАН, 2014. 100 с.

Чибилёв А.А. Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем // Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем: сб. материалов I Междунар. симпоз. Оренбург : Институт степи УрО РАН. 1997. С. 3-4.

Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Оренбург, 2016. 182 с. Репринтное издание.

Чибилёв А.А. Энциклопедия «Оренбуржье», том 1: Природа. Калуга: «Золотая аллея». 2000. 160 с.

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

Шакиров А.В. Географо-экологические аспекты охраны природной среды в условиях влияния нефтегазового комплекса на территории республики Башкортостан: учеб. пособие. Уфа: Изд-во Башкир. ун-та, 1998. 98 с.

Шамсутдинов Н.З. Биогеоценотические методы реабилитации нефтезагрязненных земель в аридных районах России // Научные труды Международного учеб.-науч. биотехнологического центра Московского гос. ун-та им. М. В. Ломоносова. М.: МГУ, 2004. С. 182-183.

Шмойлова Р.А. Минашкин В.Г., Садовникова Н.А., Шувалова Е.Б. Теория статистики: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2003. 656 с.

Шупер В.А. Характерное пространство в теоретической географии // Известия РАН. Серия Географическая. 2015. № 4. С. 5-15.

Щепашенко Г.Л. Ливневая эрозия почв и методы борьбы с ней. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1991. 178 с.

Экономическое развитие Пономаревского района на 2013-2015 годы и на перспективу до 2020 года // Муниципальное образование Оренбургской области,

Пономаревский район. 2017. (Электронный ресурс): <http://www.mopn.orb.ru/municipalprogram/view/9384>.

Юдахин Ф.Н., Губайдуллин М.Г., Коробов В.Б. Экологические проблемы освоения нефтяных месторождений севера Тимано-Печерской провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 314 с.

Южаков А.А. Оценка и прогноз антропогенного воздействия на малые реки при разработке месторождений углеводородного сырья на примере Заполярного месторождения: диссертация... канд. географ. наук. Тюмень: 2006. 25 с.

Adusah-Karikari A. Black gold in Ghana: Changing livelihoods for women in communities affected by oil production // *The Extractive Industries and Society*. 2015. Vol. 2(1). pp. 24-32. (<https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.10.006>).

Ahmadun F.R., Pendashteh A., Abdullah L.C., Biak D.R.A., Madanei S.S., Abidin Z.Z. Review of technologies for oil and gas produced water // *J Hazard Mater*. 2009. Vol. 170(2-3): 530-51. DOI 10.1016/j.jhazmat.2009.05.044.

Ahmed K., Long W. Environmental Kuznets Curve and Pakistan: an empirical analysis // *Procedia Economics Finance* 2012. № 1. pp. 4-13. ([https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(12\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(12)00003-2)).

Ahmed Z. Determination and Analysis of Desertification Process with Satellite Data Alsat-1 and Ландсат in the Algerian Steppe // *Engineering Geology for Society and Territory: Springer International Publishing*, 2015. Vol. 2. pp. 1847-1852. DOI 10.1007/978-3-319-09057-3\_327.

Amrhein V., Greenland S., McShane B. Scientists rise up against statistical significance // *Nature*, 2019. № 567. pp. 305-307. DOI 10.1038/d41586-019-00857-9.

Anderies J.M., Janssen M.A., Ostrom E. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective // *Ecology and Society*. 2004. Vol. 9(1): 18. – URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18>.

Anejionu O.C., Blackburn G.A., Whyatt J.D. Detecting gas flares and estimating flaring volumes at individual flow stations using MODIS data // *Remote Sensing of Environment*. 2015. № 158. pp. 81-94. DOI 10.1016/j.rse.2014.11.018.

Arabameri A., Pradhan B., Bui D.T. Spatial modelling of gully erosion in the Ardib River Watershed using three statistical-based techniques // *Catena*. 2020. № 190: 104545. (<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104545>).

Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique // *Remote Sensing Letters*. 2016. Vol. 7. № 3. pp. 269-278. DOI 10.21046/rors2018.279.

Baynard C.W. The landscape infrastructure footprint of oil development: Venezuela's heavy oil belt // *Ecological Indicators*. 2011. Vol. 11(3). pp. 789-810. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.10.005>).

Baynard C.W., Ellis J.M., Davis H. Roads, petroleum and accessibility: the case of eastern Ecuador // *Geojournal*. 2013. Vol. 78(4). pp. 675-695. DOI 10.1007/s10708-012-9459-5.

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. Vol. 59. № 6. pp. 995-1016. DOI 10.1007/s00267-017-0846-z.

Baynard C.W., Schupp R.W., Zhang P., Fadil P. A geospatial approach to measuring surface disturbance related to oil and gas activities in west Florida, USA // *Advances in Remote Sensing*. 2014. № 3(02): 77. DOI 10.4236/ars.2014.32007.

BP Statistical Review of World Energy // BP. Energy economics. Statistical Review 2018. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Bradshaw C.J.A., Boutin S., Hebert D.M. Energetic implications of disturbance caused by petroleum exploration to woodland caribou // *Canadian Journal Zoology*. 1998. № 76(7). pp. 1319-1324. (<https://doi.org/10.1139/z98-076>).

Brajer V., Mead R.W., Xiao F. Searching for an Environmental Kuznets Curve in China's air pollution // *China Economic Review*. 2011. № 22. pp. 838-897. (<https://doi.org/10.1016/j.chieco.2011.05.001>).

Brekke C., Solberg A.H.S. Oil spill detection by satellite remote sensing // *Rem Sens Environ.* 2005. Vol. 95(1). pp. 1-13. DOI 10.1016/j.rse.2004.11.015.

Cantón Y., Solé-Benet A., De Vente J., Boix-Fayos C., Calvo-Cases A., Asensio C., Puigdefábregas J. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain // *Journ. of Arid Environments.* 2011. Vol. 75. № 12. pp. 1254-1261. (<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.03.004>).

Chowdhury R.R., Moran E. Chowdhury Turning the curve: a critical review of Kuznets approaches // *Applied Geography.* 2012. № 32. pp. 3-11. DOI 10.1016/J.APGEOG.2010.07.004.

Christie K.S., Jensen W.F., Boyce M.S. Pronghorn resource selection and habitat fragmentation in North Dakota // *The Journal of Wildlife Management.* 2016. Vol. 81(1). pp. 154-162. DOI 10.1002/jwmg.21147.

COGCC (Colorado Oil and Gas Conservation Commission). 2016. – URL: [http://cogcc.state.co.us/documents/data/downloads/gis/WELLS\\_SHP.ZIP](http://cogcc.state.co.us/documents/data/downloads/gis/WELLS_SHP.ZIP).

Copeland H.E., Doherty K.E., Naugle D.E., Pocerwicz A., Kiesecker J.M. Mapping oil and gas development potential in the US Intermountain West and estimating impacts to species // *PLoS ONE.* 2009. № 4(10): e7400. (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007400>).

Country Analysis Brief: Russia // EIA (U.S. Energy Information Administration) 2017. – URL: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=RUS>.

CSUR (Canadian Society for Unconventional Resources) // Understanding well construction and surface footprint. 2015. – URL: [http://www.csur.com/sites/default/files/Understanding\\_Well\\_Construction\\_final.pdf](http://www.csur.com/sites/default/files/Understanding_Well_Construction_final.pdf).

da Silva Dias A.M., Fonseca A., Paglia A.P. Biodiversity monitoring in the environmental impact assessment of mining projects: a (persistent) waste of time and money? // *Perspectives in Ecology and Conservation.* 2017. (<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.001>).

das Neves Almeida T. A., Cruz L., Barata E., García-Sánchez I. M. Economic growth and environmental impacts: An analysis based on a composite index of

environmental damage // *Ecological Indicators*. 2017. № 76. pp. 119-130. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.12.028.

De Andrade M. M. N., Szlafsztein C.F., Souza-Filho P.W.M., Araújo Ad.R., Gomes M.K.T. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: a case study using GIS and remote sensing // *Journal of Environmental Management*. 2010. № 91(10). pp. 1972-1980. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.016>).

Dotterweich M., Stankoviansky M., Minár J., Koco Š., Papčo P. Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia // *Geomorphology*. 2013. Vol. 201. № 1. pp. 227-245. (<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.023>).

Dung E.J., Bombom L.S., Agusomu T.D. The effects of gas flaring on crops in the Niger Delta, Nigeria // *GeoJournal*. 2008. Vol. 73. №4. pp. 297-305. DOI 10.1007/s10708-008-9207-z.

Duscha V., Fougeyrollas A., Nathani C., Pfaff M., Ragwitz M., Resch G., Walz R. Renewable energy deployment in Europe up to 2030 and the aim of a triple dividend // *Energy Policy*. 2016. № 95. pp. 314-323. DOI 10.1016/j.enpol.2016.05.011.

Easterly T., Wood A., Litchfield T. Responses of Pronghorn and Mule Deer to Petroleum Development on Crucial Winter Range in the Rattlesnake Hills. Wyoming Game and Fish Department // *Completion Report*. № A-1372. 1991.

Economic Impact of Oil and Gas Activities in the West Texas Energy Consortium Study Region: report / San Antonio, Texas: Center for Community and Business Research at The University of Texas of San Antonio's Institute for Economic Development, 2012. 94 p.

Egli H., Steger T.M. A dynamic model of the environmental Kuznets curve: turning point and public policy // *Environmental & Resource Economics*. 2007. № 36. pp. 15–34. DOI 10.1007/s10640-006-9044-9.

Elvidge C.D., Zhizhin M., Baugh K., Hsu F.-C., Ghosh T. Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data // *Energies*. 2016. № 9. pp. 1-15. DOI 10.3390/en9010014

Estoque R.C., Murayama Y. A worldwide country-based assessment of social-ecological status (c. 2010) using the social-ecological status index // *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 72. pp. 605-614. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.047>).

Evans J.S., Kiesecker J.M. Shale Gas, Wind and Water: Assessing the Potential Cumulative Impacts of Energy Development on Ecosystem Services within the Marcellus Play // *PLOS ONE*. 2014. № 9(2): e89210. DOI 10.1371/journal.pone.0089210

Fadhil A.M. Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq // *Al-Nahrain Journal of University Science*. 2009. № 3(12). pp. 94-108. DOI: 10.22401/JNUS.12.3.13

Finer M., Jenkins C.N., Powers B. Potential of Best Practice to Reduce Impacts from Oil and Gas Projects in the Amazon // *PLOS ONE*. 2013. № 8(5): e63022. DOI 10.1371/journal.pone.0063022

Forman R.T.T., Alexandar L.E. Roads and their major ecological effects // *Ann Rev Ecol and Syst*. 1998. Vol. 29. pp. 207-231.

Francis C.D., Ortega C.P., Cruz A. Noise pollution changes avian communities and species interactions // *Current biology*. 2009. Vol. 19. № 16. pp. 1415-1419. DOI 10.1016/j.cub.2009.06.052.

Gaitána J., Bran D., Oliva G., Ciaric G., Nakamatsuc V., Salomoned J. et al. Evaluating the performance of multiple remote sensing indices to predict the spatial variability of ecosystem structure and functioning in Patagonian steppes // *Ecological Indicators*. 2013. № 34. pp. 181-191. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.007>).

Gao Y.C., Wang J.N., Guo S.H., Hu Y.L., Li T.T. et al. Effects of salinization and crude oil contamination on soil bacterial community structure in the Yellow River Delta region, China // *Applied Soil Ecology*. 2015. № 86. pp. 165–173.

Gobo A.E., Richard G., Ubong I.U. Health impact of gas flares on Igwuruta Umuechem Communities in Rivers State // *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2009. Vol. 13. № 3. pp. 27-33. DOI 10.4314/jasem.v13i3.55348.

Goines L., Hagler L. Noise pollution: a modern plague // Southern medical journal-Birmingham Alabama. 2007. № 100(3): 287-94. DOI: 10.1097/smj.0b013e3180318be5.

Grudin D.A., Myachina K.V. Dynamics of steppe arable land in zones of oil fields development (Orenburg region) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.

Haas J., Furberg D., Ban Y. Satellite monitoring of urbanization and environmental impacts: A comparison of Stockholm and Shanghai // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015. Vol. 38. pp. 138-149. DOI 10.1016/j.jag.2014.12.008.

Hall D.K. Riggs G.A., Salomonson V.V. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // Remote Sens. Environ. 1995. Vol. 54(2). pp. 127-140. ([https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00137-P](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00137-P)).

Hassan R., Scholes N. Ash Ecosystems and human well-being: Current state and trends. Vol. 1. Island Press, Washington, 2005. 917 p.

Hebblewhite M. A literature review of the effects of energy development on ungulates: implications for central and eastern Montana: report prepared for Montana Fish, Wildlife and Parks. Miles City, MT, 2008. – URL: <http://www.fwpiis.mt.gov/content/getItem.aspx?id=35572>

Hese S., Schullius C. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2009. Vol. 11. № 2. pp. 130-141. DOI 10.1016/j.jag.2008.12.002.

Hill J.M. Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect // Remote Sensing of environment. 2013. Vol. 137. pp. 94-111. DOI 10.1016/j.rse.2013.06.004.

Hill M.J., Olson R. Possible future trade-offs between agriculture, energy production, and biodiversity conservation in North Dakota // *Regional Environmental Change*. 2013. Vol. 13(2). pp. 311-328. DOI 10.1007/s10113-012-0339-9.

Jacobson M.Z., Delucchi M.A., Bazouin G., Dvorak M.J., Arghandeh R., Bauer Z. A. ... & Holmes R.T. A 100% wind, water, sunlight (WWS) all-sector energy plan for Washington State // *Renewable Energy*. 2016. Vol. 86. pp. 75-88. DOI 10.1016/j.renene.2015.08.003

Jaeger J.A., Schwarz-von Raumer H.G., Esswein H., Muller M., Schmidt-Luttmann M. Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: a case study from Baden-Wurttemberg, Germany // *Ecology and Society*. 2007. № 12(1): 22.

Jaffe M. Pawnee National Grassland oil and gas lease sale raises \$32 million // *The Denver Post*. 14 May. 2015. – URL: <http://www.denverpost.com/2015/05/14/pawnee-national-grassland-oil-and-gas-lease-sale-raises-32-million>.

Janks J.S., Edwards G., Prelat A.E. Multi-temporal analysis of oil field activities in south-central Oklahoma using Ландсат Thematic Mapper, aerial photography and GIS // *Society of Petroleum Engineers*. 1995. 29692-MS. pp. 31-42.

Jin X.M., Zhang Y.K., Schaepman M.E., Clevers J.G.P.W., Su Z. Impact of elevation and aspect on the spatial distribution of vegetation in the Qilian mountain area with remote sensing data // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2008. Vol. 37. pp. 1385-1390. –URL: [http://www.geo.uzh.ch/microsite/rsl-documents/research/publications/other-scicommunications/2008\\_Quilian\\_ISPRS\\_XJ0873693184/2008\\_Quilian\\_ISPRS\\_XJ.pdf](http://www.geo.uzh.ch/microsite/rsl-documents/research/publications/other-scicommunications/2008_Quilian_ISPRS_XJ0873693184/2008_Quilian_ISPRS_XJ.pdf)

Johnstone C.P., Lill A., Reina R.D. Habitat loss, fragmentation and degradation effects on small mammals: Analysis with conditional inference tree statistical modelling // *Biological Conservation*. 2014. Vol. 176. pp. 80-98. DOI 10.1016/j.biocon.2014.04.025.

Jones N.F., Pejchar L. Comparing the Ecol. Impacts of Wind and Oil & Gas Development: A Landscape Scale Assessment // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. № 11: e81391. (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081391>).

Jordaan S.M. Land and water impacts of oil sands production in Alberta // Environmental Science & Technology. 2012. Vol. 46. № 7. pp. 3611-3617. (<https://doi.org/10.1021/es203682m>).

Kaffashi S., Yavari M. Land-use planning of Minoo Island, Iran, towards sustainable land-use management // International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2011. Vol. 18(4). pp. 304-315. DOI 10.1080.13504509.2011.556816.

Kaika D., Zervas E. The environmental Kuznets curve (EKC) theory–Part A: concept, causes and the CO<sub>2</sub> emissions case // Energy Policy. 2013. № 62(C). pp. 1392-1402. DOI 10.1016/j.enpol.2013.07.131.

Kindzierski W.B. Importance of human environmental exposure to hazardous air pollutants from gas flares // Environmental Reviews. 1999. Vol. 8. № 1. pp. 41-62. DOI 10.12691/env-1-4-2.

Kolowski J.M., A. Alonso Density and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in northern Peru and the impact of oil exploration activities // BiolConserv. 2010. Vol. 143(4). pp. 917-925. DOI 10.1016/j.biocon.2009.12.039.

Kwarteng A.Y. Multitemporal remote sensing data analysis of Kuwait's oil lakes // Environment International. 1998. Vol. 24(1/2). pp. 121-137. ([https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(97\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00129-3)).

Kwarteng A.Y. Remote sensing assessment of oil lakes and oil polluted surfaces at the Greater Burgan oil field Kuwait // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 1999. № 1. pp. 36–47.

Lal R. Terrestrial sequestration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) // Developments and Innovation in Carbon Dioxide (Co<sub>2</sub>) Capture and Storage Technology. 2010. Vol. 1. pp. 271-303.

Lane C.R., Liu H., Autrey B.C., Anenkhonov O.A., Chepinoga V.V., Wu Q. Improved Wetland Classification Using Eight-Band High Resolution Satellite Imagery

and a Hybrid Approach // Remote Sensing. 2014. Vol. 6(12). pp. 12187-12216. (<https://doi.org/10.3390/rs61212187>).

Lee J. The regional economic impact of oil and gas extraction in Texas // Energy Policy. 2015. Vol. 87. pp. 60-71. DOI 10.1016/j.enpol.2015.08.032.

Levykin S.V., Chibilyov A.A., Kazachkov G.V. Land use modernization and agrarian and conservation prospects in the Russian Steppe // Eurasian Steppes Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World. Dordrecht: Springer, 2012. Vol. 6. pp. 491-505. DOI 10.1007/978-94-007-3886-7\_19.

Li H., Son J.H., Carlson K.H. Concurrence of aqueous and gas phase contamination of groundwater in the Wattenberg oil and gas field of northern Colorado // Water research. 2016. Vol. 88. pp. 458-466. DOI 10.1016/j.watres.2015.10.031.

Liang Y., Zhang X., Wang J., Li G. Spatial variations of hydrocarbon contamination and soil properties in oil exploring fields across China // Journal of hazardous materials. 2012. № 241-242. pp. 371-378. DOI 10.1016/j.jhazmat.2012.09.055.

Lomas P.L., Giampietro M. Environmental accounting for ecosystem conservation: Linking societal and ecosystem metabolisms // Ecological Modelling. 2017. Vol. 346. pp. 10-19. ([http://dx.doi.org/10.1016.j.ecolmodel.2016.12.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.12.009)).

Mainguet M. Dimensions in Space of «Desertification» or Land Degradation: Their Degree and Specificity in Each Continent // Desertification: Springer, Berlin, Heidelberg, 1991. Vol. 9. pp. 42-150. ([http://doi.org/10.1007/978-3-642-97253-9\\_3](http://doi.org/10.1007/978-3-642-97253-9_3)).

Måren I.E. Karki S., Prajapati C., Yadav R.K., Shrestha B.B. Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semi-arid trans-Himalayan valley? // Journal of Arid Environments, 2015. Vol. 121. pp. 112-123. DOI 10.1016/j.jaridenv.2015.06.004.

Margaritis E., Kang J. Relationship between green space-related morphology and noise pollution // Ecological Indicators. 2017. Vol. 72. pp. 921-933. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.032>).

Marimuthu C., Kirubakaran V. Carbon pay back period for solar and wind energy project installed in India: A critical review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. № 23. pp. 80-90. DOI 10.1016/j.rser.2013.02.045.

Meyfroidt P., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T. Drivers, constraints and trade-offs associated with recultivating abandoned cropland in Russia, Ukraine and Kazakhstan // *Global Environmental Change*. 2016. Vol. 37. pp. 1-15. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.01.003>).

Miao C., Sun L., Yang L. The studies of ecological environmental quality assessment in Anhui Province based on ecological footprint // *Ecological Indicators*. – 2016. Vol. 60. pp. 879-883. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.040>).

Mikhaylov S., Targulyan O. Landscape Impact Assessment of the Oil and Gas Industry in the Russia using space images interpretation // *Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Anais XIV Simpósio*, 25-30 abril 2009. Natal, Brasil, 2009. pp. 6711-6717.

Milligan J., Burd J., Philbrook K., Fullenkamp L., Coe A., Fairchild M., et al. Pawnee National Grassland oil and gas leasing analysis. Draft environmental impact statement August 2014. – URL: [http://a123.g.akamai.net/7/123/11558/abc123/forestservic.download.akamai.com/11558/www/nepa/95573\\_FSPLT3\\_2324299.pdf](http://a123.g.akamai.net/7/123/11558/abc123/forestservic.download.akamai.com/11558/www/nepa/95573_FSPLT3_2324299.pdf) M.B. Accessed 10 Mar 2016

Mjachina K.V., Baynard C.W., Chibilyev A.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 & World Ecology*, 2014. Vol. 21(2). pp. 111-126. (<https://doi.org/10.1080/13504509.2013.867908>).

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. Vol. 25 (6), pp. 541-553

Moran M.D. Taylor N.T., Mullins T.F., Sardar S.S., McClung M.R. Land use and ecosystem services costs of unconventional US oil and gas development / M. D. Moran, // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2017. Vol. 15. № 5. pp. 237-242. (<https://doi.org/10.1002/fee.1492>).

Morse S. On the use of headline indices to link environmental quality and income at the level of the nation state // *Applied Geography*. 2008. Vol. 28(2). pp. 77-95. (<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.010>).

Morton P., Weller C., Thomson J., Haefele M., Culver N. *Drilling in the Rocky Mountains: How much and at what cost?* Washington DC: The Wilderness Society. 2004. 33 p.

Morton P., Weller C., Thomson J.T. *Energy, Western Wildlands. A GIS analysis of economically recoverable oil and gas.* Washington DC: The Wilderness Society, 2002. 31 p.

Moser T.F. MNCs and sustainable business practice: the case of the Colombian and Peruvian petroleum industries // *World Development*. 2001. Vol. 29. № 2. pp. 291-309. DOI 10.1016/S0305-750X(00)00094-2.

Musinsky J.N. An analysis of human settlement along the Xan oil road in Laguna del Tigre National Park, Guatemala // *SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*, 7-10 June, Caracas, Venezuela, 1998. SPE-46824-MS. DOI 10.2118 / 46824-MS.

Mustafa A., Singh M., Sahoo R.N., Ahmed N., Khanna M., Sarangi A., Mishra A.K. Mapping of Degraded Lands from Multidate Remotely Sensed Data Using Decision Tree Based Classification (DTC) // *Report and Opinion*. 2011. Vol. 3(11). pp. 33-54.

NAIP (National Agricultural Imagery Program) // United States Department of Agriculture Farm Service Agency. 2015. – URL: <http://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/aerial-photography/imagery-programs/naip-imagery/index>.

Netalieva I., Wesseler J., Heijman W. Health costs caused by oil extraction air emissions and the benefits from abatement: the case of Kazakhstan // *Energy Policy*. 2005. Vol. 33. № 9. pp. 1169-1177.

New Satellite Data Reveals Progress: Global Gas Flaring Declined in 2017 // *The World Bank Group*. 2017. – URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/07/17/new-satellite-data-reveals-progress-global-gas-flaring-declined-in-2017>.

Nguyen A.K., Liou Y.A., Li M.H., Tran T.A. Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection // *Ecological Indicators*. 2016. Vol. 69. pp. 100-117. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.03.026

Noel L.E., Parker K.R., Cronin M.A. Response to Joly et al. A reevaluation of caribou distribution near an oil field road on Alaska's North Slope // *Wildlife Society Bulletin*. 2006. Vol. 34(3). pp. 870-873.

Noorollahi Y., Pourarshad M., Jalilinasrabady S., Yousefi H., Numerical simulation of power production from abandoned oil wells in Ahwaz oil field in southern Iran // *Geothermics*. 2015. Vol. 55. pp. 16-23. DOI 10.1016/j.geothermics.2015.01.008.

Obinna C.D., Obinna G., Anejionu A., Blackburn J., Whyatt D. Detecting gas flares and estimating flaring volumes at individual flow stations using MODIS data // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 158. pp. 81–94. DOI 10.1016/j.rse.2014.11.018.

OGJ (Oil & Gas Journal). EIA: oil market share to slip but stay strong. 11 May 2016. –URL: <http://www.ogj.com/articles/2016/05/eia-oilmarket-share-to-slip-but-stay-strong.html?cmpid=EnlDailyMay 112016&eid=288133178&bid=1402232>.

Oikonomou P.D., Kallenberger J.A., Waskom R.M., Boone K.K., Plombon E.N., Ryan J.N. Water acquisition and use during unconventional oil and gas development and the existing data challenges: Weld and Garfield counties, CO // *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 181. pp. 36-47. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.06.008.

Ojeh V.N. Sustainable development and gas flaring activities: a case study of Ebedei area of Ukwuani LGA, Delta State, Nigeria // *Resources and Environment*. 2012. Vol. 2. № 4. pp. 169-174. DOI 10.5923/j.re.20120204.06.

Okou F.A., Tente B., Bachmann Y., Sinsin B. Regional erosion risk mapping for decision support: a case study from West Africa // *Land Use Policy*. 2016. № 56. pp. 27-3. DOI 10.1016/j.landusepol.2016.04.036.

Ortega C.P. Effects of noise pollution on birds: a brief review of our knowledge // *Ornithological Monographs*. 2012. Vol. 2012. № 74. pp. 6-22. (<https://doi.org/10.1525/om.2012.74.L6>).

Ostrom E.A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems // *Science*. 2009. Vol. 325. pp. 419-422. DOI 10.1126/science.1172133.

Pierre J.P., Andrews J.R., Young M.H., Sun A.Y., Wolaver B.D. Projected Landscape Impacts from Oil and Gas Development Scenarios in the Permian Basin, USA // *Environmental Management*. 2020. pp. 1-16.

Plank S., Mager A., Schoepfer E. Monitoring of Oil Exploitation Infrastructure by Combining Unsupervised Pixel-Based Classification of Polarimetric SAR and Object-Based Image Analysis // *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6(12). pp. 11977-12004. (<https://doi.org/10.3390/rs61211977>).

Preston T.M., Kim K. Land cover changes associated with recent energy development in the Williston Basin; Northern Great Plains, USA // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 566-567. pp. 1511-1518. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.038>).

Ramesh T., Kalle R., Downs C. T. Sex-specific indicators of landscape use by servals: Consequences of living in fragmented landscapes // *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 52. pp. 8-15. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.021>).

Randelli F. An integrated analysis of production costs and net energy balance of biofuels // *Regional Environmental Change*. 2009. Vol. 9(3). pp. 221-229. DOI 10.1007/s10113-008-0055-7

Redman C.L., Grove J. M., Kubyl L. H. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change // *Ecosystems*. 2004. Vol. 7. pp. 161-171. DOI 10.1007/s10021-003-0215-z.

Reeves M.C., Baggett L.S. A remote sensing protocol for identifying rangelands with degraded productive capacity Baggett // *Ecological Indicators*. 2014. № 3. Vol. 43. pp. 172–182. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.009>).

Reynolds J.F., Smith D.M.S., Lambin E.F., Turner B.L., Mortimore M., Batterbury S.P. et al. Global desertification: building a science for dryland development // *Science*. 2007. Vol. 316(5826). pp. 847-851. DOI 10.1126/science.1131634

Rheindt, F. E. The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? // *Journal für Ornithologie*. 2003. Vol. 144. № 3. pp. 295-306. (<https://doi.org/10.1007/BF02465629>).

Road ecology: science and solutions / R.T.T. Forman, D. Sperling, J.A. Bissonnette, A.P. Clevenger, C.D. Cutshall, V.H. Dale, L. Fahrig, R. France, C.R. Goldman, K. Heanue, J.A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine, T.C. Winter. Washington DC: Island Press. 2003. 481 p.

Salomonson V., Appel I. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index // *Remote Sensing Environment*. 2004. Vol. 89. pp. 351-360. DOI 10.1016/j.rse.2003.10.016.

Sawyer S.C., Epps C.W., Brashares J.S. Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes? // *Journal of Applied ecology*. 2011. Vol. 48(3). pp. 668-678. DOI 10.1111/j.1365-2664.2011.01970.x.

Shaw M.R., Huxman T.E., Lund C.P. Modern and future semi-arid and arid ecosystems. In *History of Atmospheric CO<sub>2</sub> and its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems* // *Ecological Studies*: Springer New York, 2005. Vol. 177. pp. 415-440.

Sieminski A. International Energy Outlook // U.S. Energy Information Administration. 2016. – URL: [http://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski\\_05112016.pdf](http://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski_05112016.pdf).

Sivakumar M.V., Stefanski R. Climate and land degradation – an overview // *Climate and Land Degradation*. 2007. pp. 105-135.

Sobral A.C., Peixoto A.S.P., Nascimento V.F., Rodgers J., da Silva A.M. Natural and anthropogenic influence on soil erosion in a rural watershed in the Brazilian southeastern region // *Regional Environmental Change*, 2015. Vol. 15(4). pp. 709-720. DOI 10.1007/s10113-014-0667-z.

Spindle B., Said S. Saudi Oil Output Sets Record Despite Global Glut // *The Wall Street Journal*. 11 Aug., 2016. CCLXVIII, 35. pp. 11

Stern D.I. The rise and fall of the environmental Kuznets curve // *World Development*. 2004. № 32. pp. 1419-1439. DOI 10.1016/j.worlddev.2004.03.004.

Swaddle J.P., Page L.C. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution // *Animal Behaviour*. 2007. Vol. 74. № 3. pp. 363-368. DOI 10.1016/j.anbehav.2007.01.004.

Terrado M., Tauler R., Bennett E.M. Landscape and local factors influence water purification in the Monteregian agroecosystem in Québec, Canada // *Regional Environmental Change*. 2015. Vol. 15(8). pp. 1743-1755. DOI 10.1007/s10113-014-0733-6.

Tevie J., Grimsrud K.M., Berrens R.P. Testing the environmental Kuznets curve hypothesis for biodiversity risk in the US: a spatial econometric approach // *Sustainability*. 2011. № 3. pp. 2182-2199. DOI 10.3390/su3112182.

The Economic Impact of Oil and Gas Extraction in New Mexico: report / New Mexico State University, Las Cruces, 2010. 68 p.

The Economic Impact of the Permian Basin's Oil and Gas Industry: report / Texas Tech University For Permian Basin Petroleum Association Midland, Texas, 2014. 80 p.

Trabucchi M., Puente C., Comin F.A., Olague G., Smith S.V. Mapping erosion risk at the basin scale in a Mediterranean environment with opencast coal mines to target restoration actions // *Regional Environmental Change*. 2012. Vol. 12(4). pp. 675-687. DOI 10.1007/s10113-012-0278-5.

Uddin Saif, Al Dousari A., Literathy P. Evidence of hydrocarbon contamination from the Burgan oil field, Kuwait- Interpretations from thermal remote sensing data // *Journal of Environmental Management*. 2008. Vol. 86. № 4. pp. 605-615. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.028>).

van der Ree R., Jaeger J.A.G., van der Grift E.A., Clevenger A.P. Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales // *Ecology and Society*. 2011. Vol. 16(1): 48. (<http://dx.doi.org/10.5751/ES-03982-160148>).

Visser S.M., Sterk G. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid zones // *Soil Erosion Research for the 21st Century: Proc.*

Int. Symp., 3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2001. pp. 544-547. DOI 10.13031/2013.4836

Walter H., Breckle S.W. Subzonobiome VII of the Semi-Arid Steppes of Eurasia // *Ecological Systems of the Geobiosphere*. 1989. pp. 141-199.

Wang G. Innes J., Yusheng Y., Shanmu C., Krzyzanowski J., Jingsheng X. et al. Extent of soil erosion and surface runoff associated with large-scale infrastructure development in Fujian Province, China // *Catena*. 2012. Vol. 89. № 1. pp. 22-30. (<https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.09.001>).

Weller C., Thomson J., Morton P., Aplet G. Fragmenting our lands: The ecological footprint of oil and gas development. A spatial analysis of a Wyoming gas field // *The Wilderness Society*, Washington D.C., 2002. pp. 1-24. – URL: [https://www.wilderness.org/sites/default/files/fragmenting-our-lands\\_0.pdf](https://www.wilderness.org/sites/default/files/fragmenting-our-lands_0.pdf)

White A., Cannell M.G.R., Friend A.D. The high latitude terrestrial carbon sink: a model analysis // *Global Change Biology*. 2000. Vol. 6(2). pp. 227-245. DOI 10.1046/j.1365-2486.2000.00302.x.

Wilbert M., Thomson J., Culver N.W. Analysis of habitat fragmentation from oil and gas development and its impacts on wildlife: A framework for public land management planning: report // *Ecology and Economics Research Department*. Washington DC: The Wilderness Society. 2008. 31 p.

Wilderness Society. Habitat fragmentation from roads: travel planning methods to safeguard Bureau of Land Management lands // *Science and Policy Brief*. Washington DC: The Wilderness Society. 2006. 16 p.

Xhixha G., Baldoncini M., Callegari I., Colonna T., Hasani F., Mantovani F. et al. A century of oil and gas exploration in Albania: assessment of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORMs) // *Chemosphere*. 2015. Vol. 139. pp. 30-39. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.018>).

Xiao J., Shen Y., Tateishi R., Bayaer W. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 12(27). pp. 2411-2422. (<http://doi.org/10.1080/01431160600554363>).

Xie H., Yao G., Liu G. Spatial evaluation of the ecological importance based on GIS for environmental management: A case study in Xingguo county of China // Ecological Indicators. 2015. Vol. 51. pp. 3-12. DOI 10.1016/j.ecolind.2014.08.042.

Yang X., Zhang K., Jia B., Ci L. Desertification assessment in China: An overview // Journal of Arid Environments. 2005. Vol. 63. № 2. pp. 517-531. (<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.032>).

Zhang N., Zhao Y.S., Yu G.R. Simulated annual carbon fluxes of grassland ecosystems in extremely arid conditions // Ecological research. 2009. Vol. 24(1). pp. 185-206. DOI 10.1007/s11284-008-0497-x.

Zhao F., Xu M., Zheng Y., Wong M.H.G., Chi Y. Improving the environmental Kuznets curve for evaluating the relationships between carbon dioxide emissions and economic development // Journal of Food Agriculture and Environment. 2013. Vol. 11 (2). pp. 1193-1199.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Глобальная географическая полимасштабность обеспеченности запасами и добычи нефти и газа в странах мира (Statistical Review of World Energy, 2018).

Страна	Запасы нефти, млрд. тонн	Добыча нефти, млн. тонн	Запасы газа, трлн. куб. м.	Добыча газа, млн. куб. м
<b>Северная Америка</b>				
США	6,2	571,0	8,7	749,2
Канада	27,2	236,3	2,2	152,0
Мексика	1,0	109,5	0,2	47,2
<b>Центральная Америка</b>				
Аргентина	0,3	27,4	0,4	38,3
Боливия			0,3	19,7
Бразилия	1,9	142,7	0,4	23,5
Колумбия	0,2	44,8	0,1	10,4
Эквадор	1,2	28,5		
Перу	0,1	5,4	0,4	14,0
Тринидад и Тобаго		4,4	0,3	34,5
Венесуэла	47,3	108,3	5,7	34,3
Др. страны	0,1	6,8	0,1	2,4
<b>Евразия</b>				
Азербайджан	1,0	39,2	1,1	17,5
Дания	0,1	6,7		4,5
Италия	0,1	4,1		5,3
Казахстан	3,9	86,9	1,0	19,9
Великобритания	0,3	46,6	0,7	40,2
Норвегия	0,9	88,8	1,8	116,6
Румыния	0,1	3,6	0,1	9,2
Россия	14,5	554,4	32,3	554,4
Туркменистан	0,1	12,4	17,5	66,8
Великобритания	0,3	47,5	0,2	41,0
Узбекистан	0,1	2,6	1,1	62,8
Украина			0,6	17,8
Др. страны	0,3	18,2	0,3	19,2
<b>Средний Восток</b>				
Иран	21,6	234,2	33,5	202,4
Ирак	20,6	221,5	3,7	1,1
Кувейт	14,0	146,0	1,8	17,1
Оман	0,7	47,6	0,7	35,4
Катар	2,6	79,9	24,3	181,2
Саудовская Аравия	36,6	561,7	8,4	109,4
Сирия	0,3	1,1	0,3	3,6
ОАЭ	13,0	176,3	6,1	61,9
Йемен	0,4	2,1	0,3	0,7
Др. страны		10,9	0,4	24,9
<b>Африка</b>				
Алжир	1,5	66,6	4,5	91,3
Ангола -	1,6	81,8		
Респ. Конго	0,2	14,7		
Египет	0,5	32,2	1,8	41,8
Экват. Гвинея	0,1	9,58		

Габон	0,3	11,4		
Либия	6,3	20,0	1,5	10,1
Нигерия -	5,0	98,8	5,3	44,9
Др. страны	1,5	29,2	1,1	20,2
<b>Страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР)</b>				
Австралия	0,4	15,5	3,5	91,2
Бруней	0,1	5,9	0,3	11,2
Китай	3,5	199,7	5,4	138,4
Индия	0,6	40,2	1,2	27,6
Индонезия	0,5	43,0	2,9	69,7
Малайзия	0,5	32,7	1,2	73,8
Тайланд		17,6	0,2	38,6
Вьетнам	0,6	16,0	0,6	10,7
Др. страны	0,2	12,4	2,4	118,7
<b>Всего в мире</b>	<b>239,3</b>	<b>4387,1</b>	<b>186,6</b>	<b>3551,6</b>

## Приложение 2. Основные технологические операции нефтегазодобычи

На месторождениях осуществляются следующие основные технологические операции (по материалам «Оценка воздействия...», 2010»):

- добыча нефти фонтанным и механизированным способом с применением насосов различного типа;
- сбор продукции нефтяных скважин по напорной герметизированной однетрубной системе;
- транспорт продукции скважин до групповых замерных установок (ЗУ) и далее на ДНС для частичного разгазирования нефти;
- первичная подготовка нефти на установках предварительного сброса воды (УПСВ);
- подготовка нефти (дегазация, обезвоживание, обессоливание) до товарной кондиции на установке подготовки нефти и газа;
- закачка промысловых сточных вод, а также пресных вод в продуктивные пласты с целью поддержания пластового давления;
- транспорт нефти до потребителя.

### *Краткое описание технологических процессов на ДНС*

Газожидкостная смесь (нефть сырая) по трубопроводу поступает в сепаратор. В сепараторе происходит отделение основной части газа из поступающей газожидкостной смеси. Выделившийся в сепараторе газ поступает на оперативный узел учета и далее в газопровод. Разгазированная нефть из сепаратора поступает в буферную емкость.

В буферной емкости происходит окончательная сепарация (дегазация) жидкости. Разгазированная нефть из емкости по мере ее наполнения подается насосами через узел учета нефти в существующий нефтеколлектор для дальнейшей транспортировки.

### *Краткое описание технологических процессов на УПН*

Подготовки нефти состоит из следующих стадий:

- сепарация нефти;
- сепарация и предварительный сброс воды;
- глубокое обезвоживание и электрохимическое обессоливание нефти;
- транспортировка подготовленной нефти.

### *Сепарация и предварительный сброс воды*

Сырая нефть от промысловых и групповых замерных установок через входной блок нефти поступает в сепаратор 1. После сепаратора в выходной нефтепровод подается дозированная порция деэмульгатора от автоматизированного блока подачи деэмульгатора. В сепараторе при давлении 2,1-3,7 МПа, происходит разгазирование – отделение газа от нефти.

Сепаратор 1 представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд с пеногасящей насадкой, снабжен спаренными, заблокированными по запорной арматуре предохранительными клапанами, один клапан постоянно находится в работе, один в резерве. Сброс газа с предклапанов осуществляется через сепаратор на факел. Отсепарированный газ из сепаратора 1 поступает на установку осушки газа и далее в газопровод. Нефть из сепаратора 1 поступает в трехфазный сепаратор 2, снабженный внутренней перегородкой и пеногасящей насадкой, где происходит отделение пластовой воды от нефти. Нефть как более легкое вещество накапливается вверху аппарата и перетекает через перегородку, отделяясь, таким образом, от воды. Газ из сепаратора 2 направляется в газосепаратор, пройдя который поступает на автоматическую газораспределительную станцию (АГРС), а избыток газа через узел замера направляется на факел. Нефть с обводненностью до 10 % из трехфазного сепаратора 2 поступает в буферную емкость. Водонефтяная эмульсия из буферной емкости двумя потоками подается на обезвоживание и обессоливание нефти.

#### *Глубокое обезвоживание, электрохимическое обессоливание нефти*

Сырая нефть с постоянно дозируемым деэмульгатором поступает в подогреватель первой ступени, где осуществляется подогрев нефти до 27<sup>0</sup>С. Подогретая сырая нефть из подогревателя поступает в трехфазный сепаратор; во входной трубопровод нефти при необходимости подается дозированная порция деэмульгаторов (синтетические ПАВ, метанол, полиэтиленгликолевый эфир и т.п.) от блочной установки. В сепараторе происходит выделение газа, разделение нефти и воды за счет снижения вязкости эмульсии в результате подогрева, действия гравитационных сил при отстое и действия деэмульгатора. Пластовая вода из сепаратора отводится в разделитель и далее поступает в систему поддержания пластового давления. Подогретая до 55<sup>0</sup>С нефть из подогревателя поступает в очиститель - электродегидратор, где происходит окончательное обезвоживание и обессоливание за счет отстаивания.

Установка обезвоживания и электрообессоливания может работать как на пластовой нефти, так и с рециркуляцией 20% некондиционной нефти, а так же на отработанных нефтепродуктах. В технологическом процессе обессоливания используется до 5% пресной воды от веса нефти.

#### *Краткое описание технологических процессов на УПСВ*

На установках предварительного сброса воды (УПСВ) нефтяная эмульсия предварительно очищается от механических примесей на жидкостных фильтрах, утилизируемых в составе осадка очистных. Газожидкостная смесь обрабатывается нефтяным раствором деэмульгатора. Нефть с введенным в нее деэмульгатором поступает в трубопровод пластовой нефти перед трехфазным сепаратором. В сепараторе производится разделение

газожидкостной смеси на газ, воду и частично обезвоженную нефтяную эмульсию. Газ и вода из трехфазного сепаратора выводятся, а частично обезвоженная нефтяная эмульсия проходит нагрев в подогревателе. Из сепаратора дегазированная нефтяная эмульсия подается в отстойник аппарата обезвоживания нефти - БУОН. Проходя через внутренние устройства БУОН, нефтяная эмульсия разделяется на нефть и воду.

Обезвоженная нефть поступает на насосную установку и откачивается на головные сооружения. Пластовая вода, сбрасываемая с трехфазного сепаратора и отстойника, поступает в блок очистки и подготовки воды, включающий два аппарата тонкослойного отстаивания и буферную емкость и далее закачиваются в пласт для поддержания пластового давления.

#### *Краткое описание очистки ливневых и дренажных вод в системе ливневой канализации*

Ливневые и дренажные стоки с площадок технологического оборудования ДНС, УПН, УПСВ сбрасываются в существующую сеть производственно-дождевой канализации со встроенными гидрозатворами и далее проходят очистку на аппаратах очистки сточных вод, входящих в состав установок подготовки нефти (УПН), после чего используются в системе ППД. Сеть производственно-дождевой канализации представляет собой сеть стальных труб, выведенных в канализационные колодцы из сборных ж/б элементов с чугунными люками. Ливневые стоки поступают на площадку подземных дренажных емкостей, на которой расположены три дренажные емкости. Каждая емкость оснащена насосом. Сбор ливневых стоков с площадок осуществляется в первую дренажную емкость и после отстаивания сточные воды поступают самотеком во вторую дренажную емкость. Отстоянная сточная вода из второй и третьей дренажных емкостей подается в резервуар пластовой воды и далее в систему ПДД. Во вторую и третью емкости, кроме того, поступает пластовая вода, отделившаяся от газожидкостной смеси (сырой нефти) из бункеров отстойников. Дренажная емкость в составе промышленной ливневой канализации предназначена для сбора отделившихся от сточных вод нефтепродуктов. Собранные нефтепродукты перекачиваются в нефтепровод и вовлекаются в технологический процесс подготовки нефти. Зачистка бункеров отстойников проводится по мере наполнения конической части бункера осадком. Очищенные сточные воды закачиваются в пласт для поддержания пластового давления.

#### *Факельные системы*

Факельные системы предназначены для безопасного приема и сжигания углеводородных газов, поступающих при аварийных сбросах через предохранительные клапаны, дистанционно-управляемые клапаны, а также при подготовке оборудования и систем к ремонтным работам.

Предусмотрены факельные системы как высокого, так и низкого давления. Каждая факельная система предназначена для сброса газа с одного из двух технологических потоков производства товарного газа. В факельные системы предусматривается постоянная подача

затворного газа. Факельные трубы имеют встроенные затворы, предотвращающие попадание воздуха извне в трубу и систему инъекции пара для бездымного горения газа.

### *Очистные сооружения ЗГПП*

Канализационные очистные сооружения предназначены для приема сточных вод технологической и подсобно-вспомогательных зон, их очистки от механических примесей, взвешенных частиц, растворенных органических веществ и нефтепродуктов с доведением качества показателей, требуемых для использования очищенных стоков в системе поддержания пластового давления нефтяного месторождения.

Технологическая схема очистных сооружений включает следующие стадии:

- механическую очистку в отстойниках, биологическую очистку в аэробных установках и доочистку на напорных фильтрах для бытовых стоков и стоков, загрязненных триэтиленгликолем, этиленгликолем и метанолом;
- механическую очистку в осветлителе, отделение нефтепродуктов во флотаторе и нефтеотстойнике для производственно-дождевых стоков;
- сбор очищенных и условно чистых стоков, обработку бактерицидом, ингибитором коррозии и транспорт на производственные сооружения;
- выделение осадков сточных вод, их обезвоживание и обезвреживание.

Режим работы очистных сооружений в течение суток – непрерывный.

Приложение 3. Виды и характеристика отходов нефтегазодобычи («Оценка воздействия...», 2010»)

№ п/п	Наименование отхода	Класс опасности	Количество отходов, т	Агрегатное состояние, компонентный состав отхода	Способ утилизации
1	Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак	1	0,41	Готовое изделие, потерявшее потребительские свойства Стекло-95% сульфид цинка-1,9% сульфид кадмия-0,1% металл-2,0% ртуть-1,0%	Обезвреживание
2	Масла трансформаторные отработанные, не содержащие галогены, полихлорированные дифенилы итерфинилы	3	18,0000	Жидкий Нефтепродукты-99,38% Вода-0,19% Механические примеси-0,43%	Использование
3	Масла компрессорные отработанные	3	1,0100	Жидкий Нефтепродукты-99,05% Вода-0,16% Механические примеси-0,79%	Использование
4	Масла дизельные отработанные	3	0,2320	Жидкий Железо-0,0019% хром-0,0001% марганец-0,001% никель-0,0001% свинец-0,0013% цинк-0,0013% медь-0,017% бензапирен-0,0000002% C5-C10-0,12% нефтепродукты-99,87%	Использование
5	Шлам очистки трубопроводов и емкостей (бочек, контейнеров, цистерн, гудронаторов) от нефти	3	641,827	Шлам Кадмий-0,00005% свинец-0,00356% медь-0,00643% никель-0,00055% кобальт-0,000032% марганец-0,00284% цинк-0,02453% нефтепродукты-23,17% окись кремния-15,502% вода-61,29	Переработка
6	Лабораторные отходы и остатки химикалий (отработанная нефть от лабораторных анализов)	3	46,2	Данные не установлены Нефтепродукты-98,38% влажность-0,96% механические примеси-0,66%	Использование
7	Масла промышленные отработанные	3	13,616	Жидкий Железо-0,0033%	Использование

				никель-0,0003% свинец-0,0038% цинк-0,0019% медь-0,0018% бензапирен-0,00002 нефтепродукты-99,99%	
8	Шлам нефтеотделительных установок	3	5897906,4	Шлам Влажность-22,03% Нефтепродукты-56,80% Песок-21,17%	Переработка
9	Песок, загрязненный мазутом (содержание мазута 15% и более)*	3	1,8	Шлам Влажность-3,67% Нефтепродукты-18,05% Песок-78,28%	Переработка
10	Отходы сложного комбинированного состава в виде изделий, оборудования, устройств, не вошедшие в другие пункты (каска строительные отработанные)	3	0,804	Данные не установлены Полиэтилен-100%	Захоронение
11	Всплывающая пленка из нефтеуловителей	3	16,65	Эмульсия Влажность-31,55% Нефтепродукты-65,55% Песок-2,94%	Использование
12	Отходы, содержащие медь, несортированные	3	8,33	Твердый Медь-98,06% механические примеси-1,94%	Переработка
13	Отходы битума и асфальта в твердой форме	4	1,0500	Твердый Вода-4,42% механические примеси-8,56% битум-87,02%	Захоронение
14	Прочие отходы бумаги и картона	4	0,2120	Данные не установлены Вода-4,42% целлюлоза- 93,68% мел-0,96%	Захоронение
15	Отходы шлаковаты	4	1,1560	Твердый Вода-1,16% механические примеси-2,14% Стекловолокно-96,44% нефтепродукты-0,26%	Захоронение
16	Лом и отходы, содержащие черные металлы	4	0,7890	Твердый Железо-93,63% краска-6,37%	Переработка
17	Отходы сложного комбинированного состава в виде изделий (приборы КИПиА и их детали)	4	10,2	Данные не установлены Железо-84,46% Поливинилхлорид-1,72% Стекло-10,64% Нефтепродукты-0,01% Каучук-3,17%	Захоронение

18	Отходы сложного комбинированного состава в виде изделий, оборудования, устройств, не вошедшие в другие пункты (Отходы офисной техники)	4	0,73	Данные не установлены Железо-14,13% Полистирол-70,18% Поливинилхлорид-5,65% Углерод-4,01% Каучук-6,03%	Захоронение
19	Отходы при механической и биологической очистке сточных вод	4	0,98	Данные не установлены Влажность-19,76% Нефтепродукты-7,37% Песок-72,87%	Захоронение
20	Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	4	176,3	Твердый Пищевые отходы-17,0% Бумага, картон-12,0% Дерево-7,0% Металл-10,0% Текстиль-8,0% Кости-26,0% Стекло-10,0% Кожа, резина-2,0% полимеры, строительный мусор-10,0%	Захоронение
21	Отходы от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды (подтоварные воды)	4	22189,534	Данные не установлены Влажность-90,18% Нефтепродукты-0,02% Хлорид кальция-1,88% Хлорид магния-0,96% Хлорид натрия-6,91% Гидрокарб. натрия-0,02% Сульфат натрия-0,03%	Использование
22	Обувь кожаная рабочая, потерявшая потребительские свойства	4	3,216	Готовое изделие, потерявшее потребительские свойства Влажность-1,67% Нефтепродукты-0,65% Грунт-3,41% Кожа-60,12% Каучук-26,35% Целлюлоза-6,57% Железо-1,23%	Использование
23	Отходы тканей, старая одежда	4	5,227	Твердый Влажность-3,62% Нефтепродукты-3,81% Мех. примеси-1,67% Текстиль-90,90%	Использование
24	Текстиль загрязненный (рукавицы)	4	0,482	Данные не установлены Влажность-4,03% Нефтепродукты-5,99% Мех. примеси-2,635 Текстиль-87,35%	Использование
25	Отходы (осадки) из выгребных ям и	4	3570,0	Данные не установлены Влажность-87,93%	Захоронение

	хозяйственно-бытовые стоки			Азот аммонийный-0,44% Взвешенные вещества-0,62% Остатки орг. веществ раст. и животного происхождения-11,01%	
26	Прочие твердые минеральные отходы (грунт, загрязненный нефтью)	4	6000,0000	Данные не установлены Влажность-3,31% Грунт-93,15% Нефтепродукты-3,54%	Переработка
27	Отходы потребления на производстве, подобные коммунальным (мусор с территории предприятия)	4	559,002	Данные не установлены Влажность-6,13% Целлюлоза-58,98% Алюминий-3,14% Стекло-2,76% Полиэтилен-4,16% Полиэтилентереф-галат-1,91% Компоненты раст. происхождения-22,92%	Захоронение
28	Отходы от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды (жидкость от промывки тары из-под реагентов)	4	0,36	Данные не установлены Влажность-98,03% Хлорид-ион-0,64% Сульфат-ион-0,14% Механические примеси-1,19%	Использование
29	Отходы сложного комбинированного состава в виде изделий, оборудования (отработанные противогазы)	4	0,264	Данные не установлены Влажность-0,22% Железо-21,94% Каучук-63,34% Целлюлоза-2,16% Уголь акт.-12,34%	Захоронение
30	Отходы горбыля и рейки из натуральной чистой древесины	5	8,3000	Твердый Вода-6,68% древесина-93,32%	Использование
31	Бой железобетонных изделий, отходы железобетона в кусковой форме	5	150,0000	Твердый Бетон-99,092% сталь углеродистая-0,908%	Захоронение
32	Бой бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме	5	134,0000	Твердый Гранитный щебень-49,0% Кварцевый песок-24,0% Наполнитель-14,5% Жидкое-10,5% натриевое стекло-1,6% Кремнефтористый натрий-0,35% Фуриловый спирт-0,03% Катапин-0,02% Сульфанол	Захоронение
33	Бой строительного кирпича	5	1,9620	Твердый Глина-95,0%	Захоронение

				опилки-5,0%	
34	Полиэтиленовая тара поврежденная	5	1,1430	Готовое изделие потерявшее потребительские свойства Полиэтилен-100,0%	Захоронение
35	Отходы песка, незагрязненного опасными веществами	5	0,9630	Твердый Вода-0,2% кремния оксид-98,08% глинистые и илистые примеси-1,0%	Захоронение
36	Стекланный бой незагрязненный	5	0,012	Твердый Оксид кремния-99,34% Оксид железа-0,01% Оксид алюминия-0,05% Вода-0,09% Тяжелые фракции-0,05%	Захоронение
37	Лом медных сплавов несортированный	5	4,8	Твердый Медь металлическая-99,5% Неметаллические материалы-0,5%	Переработка
38	Лом черных металлов несортированный	5	1284,0	Твердый Сталь углеродистая-98,0% Безвредные примеси-2,0%	Переработка
39	Резиновые изделия незагрязненные, потерявшие потребительские свойства (резиновая спецобувь)	5	1,93	Готовое изделие, потерявшее потребительские свойства Резина-70,0% Текстиль-30,0%	Использование
40	Отходы упаковочного картона незагрязненного	5	0,0685	Твердый Влажность-3,03% Целлюлоза-96,97%	Захоронение
41	Деревянная упаковка (невозвратная тара) из натуральной древесины	5	0,24	Готовое изделие потерявшее потребительские свойства Древесина-100,0%	Использование
42	Железные бочки, потерявшие потребительские свойства	5	15,51	Готовое изделие, потерявшее потребительские свойства Сталь-100,0%	Переработка
43	Отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства (макулатура)	5	8,664	Твердый Влажность-4,12% Целлюлоза-95,88%	Захоронение
44	Пластмассовая незагрязненная тара, потерявшая	5	0,0125	Готовое изделие, потерявшее потребительские	Захоронение

	потребительские свойства			свойства Влажность-1,05% Пластмасса-98,95%	
45	Остатки и огарки стальных сварочных электродов	5	1,661	Твердый Углерод-0,12% Кремний-5,3% Марганец-2,4% Хром-16,8% Никель-9,2% Молибден-2,3% Ванадий-0,9% Титан-0,3% Сера-0,03% Фосфор-0,035% Сталь углеродистая-62,615%	Переработка
46	Лом алюминия несортированный	5	0,33	Твердый Алюминий-98,85% Кремний-0,5% Медь-0,05% Железо-0,5% Цинк-0,1%	Переработка
47	Лом стали углеродистых марок, несортированный	5	1,125	Твердый Сталь углеродистая-98,0% Безвредные примеси-2,0%	Переработка
48	Отходы пластмассовой (синтетической) пленки, незагрязненной	5	0,3	Твердый Влажность-0,28% Пластмасса-99,72%	Захоронение
49	Отходы изолированных проводов и кабелей	5	0,11	Готовое изделие, потерявшее потребительские свойства Медь-23,47% Алюминий-60,51% Поливинилхлорид-16,02%	Захоронение
50	Стружка натуральной чистой древесины	5	0,0900	Твердый Влажность-6,16% Древесина-93,84%	Использование
51	Обрезь натуральной чистой древесины	5	0,1480	Твердый Влажность-6,93% Древесина-93,07%	Использование
52	Опилки натуральной чистой древесины	5	0,0590	Твердый Влажность-7,49% Древесина-92,51%	Использование

Приложение 4. Характеристика и результаты применения спектральных преобразований спутниковых снимков Ландсат для выявления нарушенных земель

Преобразование	Краткое описание	Результативность применения	Оценка точности классификации	Ложное определение
1. K-Means	Алгоритм классификации без обучения. Оптимальная спектральная разделимость достигается путем отнесения каждого пикселя к какой-либо группе по критерию минимального евклидова расстояния от него до центра группы. Классификация выполнена за 15 итераций, максимальное стандартное отклонение от среднего равно 1.	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса "нарушенные земли" с классом "окружающий ландшафт".	Выделено 219 объектов, точность 86,9%	Превышение класса в 64,1 раза
2. GSI	Индекс основан на различиях в размере почвенных частиц, влияющих на отражательные свойства почвы, вычисляется по следующей формуле (Xiao и др., 2006): $GSI = (Red - BLUE) \times (Red + BLUE + Green)$	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса "нарушенные земли" с классом "окружающий ландшафт".	В значимом интервале выделено 78 объектов, точность 30,9 %	Превышение класса в 14,8 раз
3. NDSnI	Вычисляется по формуле: $NDSnI = \frac{Red - NIR}{Red + NIR}$ Используется как для выделения снега и льда, так и для разделения этих классов на фракции (Hall и др., 1995; Salomonson, Appel 2004).	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса "нарушенные земли" с классом "окружающий ландшафт".	В значимом интервале выделено 145 объектов, точность 57,5%	Превышение класса в 18,1 раз
4. SB	Индекс увеличивает коэффициент отражения почвы за счет использования красного, ближнего инфракрасного и зеленого каналов (Mustafa и др., 2011). Вычисляется по формуле: $0.4328 \times (Green) + 0.6490 \times (Red) + 0.4607 \times (NIR)$	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса "нарушенные земли" с классом "окружающий ландшафт".	В значимом интервале выделено 120 объектов, точность 47,6%	Превышение класса в 15,1 раз

5. Tasseled Cap (TC)	<p>Спектральные преобразования TC, являющиеся частным случаем анализа главных компонент, основаны на расчете некоррелированных составляющих снимка, позволяющих более детально анализировать его спектральный отклик. Оценивались результаты анализа по основному компоненту Brightness, который определяется по следующей формуле:</p> $TC(Brightness) = 0.3037 \times (Blue) + 0.2793 \times (Green) + 0.4743 \times (Red) + 0.5585 \times (NIR) + 0.5082 \times (SWIR1) + 0.1863 \times (SWIR2)$	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса "нарушенные земли" с классом "окружающий ландшафт".	В значимом интервале выделено 139 объектов, точность 55,2%	Превышение класса в 16,6 раз
6. Co-occurrence measures	В основе преобразования лежит формирование матриц пространственной смежности яркости пикселей. Матрицы формируются на основе вычислений того, как часто пиксель со значением интенсивности $i$ встречается по горизонтали с пикселем со значением интенсивности $j$ . На основе таких матриц вычисляются статистические характеристики изображения второго порядка, называемые текстурными признаками, которых на данный момент известно несколько десятков.	Значимым является признак Variance, рассчитанный для 1-ого канала изображения (Blue). На классифицированном изображении увеличение площади класса "нарушенные земли" наблюдается за счет включения участков пойм, овражно-балочной сети и лесозащитных полос.	В значимом интервале выделено 188 объектов, точность 74,6%	Превышение класса в 35,7 раз
		Значимым является признак Mean, рассчитанный для 4-ого канала изображения (NIR). На классифицированном изображении увеличение площади класса "нарушенные земли" наблюдается за счет включения участков пойм, овражно-балочной сети и лесозащитных полос.	В значимом интервале выделено 202 объекта, точность 80,16%	Превышение класса в 39,6 раз