

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»

На правах рукописи



Никифорова Александра Александровна

РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ
В УСЛОВИЯХ ПОСТКОНФЛИКТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНОВ РЕК ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) И СУНЖИ)

Специальность 1.6.21 Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Горбунов Роман Вячеславович,
доктор географических наук

Севастополь – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ НА ПОСТКОНФЛИКТНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	14
1.1. Понятие и классификация экосистемных услуг в отечественных и зарубежных источниках. Регулирующие экосистемные услуги.....	14
1.2. Влияние вооружённых конфликтов на оказание экосистемных услуг в речных бассейнах и опыт их анализа на постконфликтных территориях	25
1.3. Выявление и характеристика ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек	27
Выводы по разделу 1	29
РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В БАСЕЙНАХ РЕК	31
2.1. Методика анализа регуляции лесного покрова	32
2.2. Методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг (модель InVEST)	33
2.2.1. Депонирование углерода	43
2.2.2. Обеспечение пресной водой	45
2.2.3. Снижение риска наводнений	46
Выводы по разделу 2	46
РАЗДЕЛ 3. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНОВ РЕК ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) И СУНЖИ.....	48
3.1. Физико-географические особенности территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт).....	48
3.1.1. Географическое положение	48
3.1.2. Геологическое строение и рельеф.....	51
3.1.3. Климат	55
3.1.4. Поверхностные воды.....	62
3.1.5. Почвы.....	63
3.1.6. Растительный и животный мир	69
3.2. Исторический контекст формирования современных ландшафтов и природопользования на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт).....	70
3.3. Физико-географические особенности территории бассейна реки Сунжа.....	79
3.3.1. Географическое положение	79
3.3.2. Геологическое строение и рельеф.....	81
3.3.3. Климат	85
3.3.4. Поверхностные воды.....	92

3.3.5. Почвы.....	93
3.3.6. Растительный и животный мир	98
3.4. Исторический контекст формирования ландшафтов и природопользования бассейна реки Сунжа.....	101
Выводы по разделу 3	107
РАЗДЕЛ 4. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ БАСЕЙНОВ РЕК В РАЗРЕЗЕ ПОСТКОНФЛИКТНЫХ УСЛОВИЙ.....	110
4.1. Пространственно-временной анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Эль-Аси (Оронт)	110
4.1.1. Регуляция лесного покрова.....	110
4.1.2. Депонирование углерода	112
4.1.3. Обеспечение пресной водой	114
4.1.4. Снижение риска наводнений.....	117
4.1.5 Изменение показателей экосистемных услуг	118
4.2. Пространственно-временной анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Сунжа.....	119
4.2.1. Регуляция лесного покрова.....	119
4.2.2. Депонирование углерода	121
4.2.3. Обеспечение пресной водой	123
4.2.4. Снижение риска наводнений.....	125
4.2.5. Изменение показателей экосистемных услуг	127
Выводы по разделу 4	129
РАЗДЕЛ 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ	130
5.1. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт).....	130
5.2. Бассейн реки Сунжа	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	136

ВВЕДЕНИЕ

Обоснование выбора темы и её актуальности. Возрастание численности населения Земли и, как следствие, антропогенной нагрузки на природные ландшафты, а также ограниченность ресурсов планеты обусловило создание и развитие концепции экосистемных услуг. Ландшафты предоставляют широкий спектр услуг, многие из которых имеют фундаментальное значение для благополучия человека и его здоровья, получению средств к существованию и выживанию [The value of the..., 1997; MEA, 2005; TEEB Foundations, 2010]. Осознание неразрывной зависимости благополучия человека от функционирования природных систем эволюционировало в концепцию экосистемных услуг, ставшую ответом на растущее антропогенное давление и ограниченность природных ресурсов.

Экосистемные услуги определяются как выгоды, которые люди получают от природных систем [The value of..., 1997], а также прямой и косвенный вклад экосистем в благосостояние человека [MEA, 2005; TEEB Foundations, 2010]. Во второй половине XX в. значение экосистемных услуг стало общепризнанным [Кузьмичев, Трушина, Трушина, 2021]. Однако усиление антропогенного воздействия на природу, а также на предоставляемые ей экосистемные услуги, актуализировало необходимость перехода от простого признания зависимости человечества от природной среды к формированию более устойчивых и сбалансированных форм взаимодействия. Это потребовало разработки научно обоснованных подходов, направленных на минимизацию негативного влияния человеческой деятельности на ландшафты и обеспечение их долгосрочной устойчивости.

На сегодняшний день в мире разрабатываются вопросы, связанные с экосистемными услугами, включая их анализ. Появились фундаментальные международные исследования, посвященные экономике экосистемных услуг. При этом, как отмечают С.Н. Бобылев с соавторами «само определение экосистемных услуг остается в значительной степени дискуссионным» [Бобылев, Перелет, Соловьева, 2012]. В отчетах научных организаций и работах ученых в последнее время наибольшее распространение получило широкое определение, представленное в работе Millennium Ecosystem Assessment (MEA), где под экосистемными услугами подразумеваются «выгоды, получаемые людьми от экосистем» [MEA, 2005]. В дальнейшем данное определение будет использовано в исследовании.

Результатом работы саммита ООН, проведенного в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке 25 сентября 2015 г., стала Повестка дня в области устойчивого развития, планируемая к реализации после 2015 г. Приняв цели устойчивого развития (ЦУР) на период до 2030 года, мировые лидеры пообещали избавить человечество от нищеты и «исцелить» планету.

Практически все цели устойчивого развития, за исключением ЦУР 5 «Гендерное равенство», не могут быть достигнуты без принятия унифицированных методических рекомендаций по оценке ценности природных ресурсов и природных условий [Юрак, Душин, Мочалова, 2020], в совокупности объединенных в теорию об экосистемных услугах.

Концепция экосистемных услуг – вклад экосистем в благосостояние человека [Global estimates of..., 2012], является важным подходом для демонстрации взаимосвязи человека и окружающей среды. Благодаря оценке, зависимость между экосистемными услугами и благосостоянием человека становится более явной [Global mapping of..., 2008]. Таким образом, доказательства этой связи должны улучшить принятие экологических решений, гарантируя, что ценные ландшафты продолжают предоставлять услуги, необходимые для благосостояния человека [Daily, 1997].

Экосистемные услуги подразделяют на обеспечивающие (пища, вода, древесина и др.), регулирующие (регулирование качества воды, климата, опыление и др.), культурные (рекреация, религия, вдохновение и др.) и поддерживающие или вспомогательные (круговороты, почвообразование и др.) [МЕА, 2005]. В качестве объекта настоящего исследования были выбраны регулирующие экосистемные услуги. Этот выбор обусловлен их системообразующей функцией в поддержании экологического баланса. Регулирующие экосистемные услуги имеют фундаментальную роль в стабилизации экологических условий, создающую основу для предоставления всех прочих категорий экосистемных услуг и влияющую на благосостояние человека. Таким образом, именно от их состояния и динамики напрямую зависят как обеспечивающие услуги, так и культурные ценности экосистем.

Ландшафты играют ключевую роль в предоставлении гидрологических услуг, которые тесно взаимосвязаны с широким спектром других важнейших экосистемных функций [Brauman, Meulen, Brils, 2014]. К ним относятся регулирование качества атмосферного воздуха, секвестрация диоксида углерода, процессы трансформации и нейтрализации загрязняющих веществ в почве и пр. Водные экосистемы (реки, озера, грунтовые воды, прибрежные воды, моря) поддерживают предоставление важнейших экосистемных услуг. Ключевые экосистемные услуги также связаны с гидрологическим циклом в речном бассейне, например, очистка воды, удержание воды и т.д. Эти услуги формируют сложную сеть динамических взаимодействий, характеризующихся высокой степенью взаимозависимости и нелинейностью процессов. Для глубокого понимания механизмов функционирования и взаимосвязей между различными экосистемными услугами требуется применение междисциплинарных подходов, интегрирующих методы и концепции из различных областей научного знания. Все экосистемные услуги должны быть рассмотрены для устойчивого использования и управления водными ресурсами [Assessing water ecosystem..., 2016].

Стоит отметить, что почти 47 % поверхности земной суши, за исключением Антарктиды, находятся на территории международных водных бассейнов, совместно используемых двумя или более государствами. Насчитывается 44 страны, где к таким бассейнам относится не менее 80% территории. Количество бассейнов рек и озер, используемых двумя или более странами, в настоящее время превышает 300 [Партнерство в области..., 2007]. Это подчеркивает важность изучения трансграничных рек, так как, зачастую, данные территории нуждаются в разработке скоординированных стратегий управления, учитывающих совместные эффекты антропогенных и природных факторов.

Экологическая уязвимость трансграничных систем усиливается в условиях антропогенного воздействия. К одним из форм негативного антропогенного воздействия относятся вооруженные конфликты. Сюда же относятся бассейны, пострадавшие от вооруженных конфликтов. Данное исследование подчеркивает сложность взаимодействия человечества и окружающей среды в контексте восстановления ландшафтов, поврежденных вооруженными действиями [Баугамова, 2024]. Исследование трансграничных рек является критически важным для обеспечения гидрологической безопасности, сохранения экосистемных услуг и укрепления международного сотрудничества в контексте глобальных вызовов XXI века.

Изучение регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек приобретает ключевое значение в контексте глобальных вызовов, связанных с антропогенной трансформацией природных систем и нарастающей дестабилизацией гидрологических циклов. Речные бассейны, как интегральные геоэкологические системы, обеспечивают важные регулирующие услуги, включая поддержание качества водных ресурсов, стабилизацию микроклимата, контроль эрозионных процессов посредством растительного покрова, а также снижение риска экстремальных гидрологических событий.

Особую значимость приобретают регулирующие экосистемные услуги, обеспечивающие поддержание качества среды, в том числе гидрологические услуги, неразрывно связанные с функционированием речных бассейнов как ключевых геоэкологических единиц. Потребность исследования и мониторинга резко обостряется на территориях, переживших вооруженные конфликты, где восстановление деградированных территорий и их экосистемных услуг становится критическим для достижения Целей устойчивого развития ООН (ЦУР), особенно ЦУР 6 (Чистая вода и санитария) и ЦУР 15 (Сохранение экосистем суши). Несмотря на значительный прогресс в разработке концепции экосистемных услуг, методология их анализа, особенно для специфических условий постконфликтных территорий, характеризующихся комплексным воздействием физических разрушений и социально-экономических коллапсов [Баугамова, 2024], остается недостаточно разработанной. Существующие подходы фрагментарны и часто не учитывают особенности постконфликтной трансформации, что

обуславливает научную и практическую потребность в разработке комплексных методик анализа регулирующих экосистемных услуг для таких территорий, направленных на обоснование эффективных стратегий их экологической реабилитации и устойчивого управления водными ресурсами. Данное исследование, фокусирующееся на бассейнах рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи как репрезентативных примерах, восполняет этот пробел.

Степень разработанности темы исследования.

Концепция экосистемных услуг впервые стала применяться в качестве подхода к оценке устойчивости природных систем в 1997 г. Р. Costanza [The value of..., 1997] и G. Daly [Introduction: What are..., 1997]. Изучение экосистемных услуг активно развивается отечественными исследователями, среди которых необходимо указать С. Н. Бобылева [Экономическая оценка биоразнообразия..., 1999; Бобылев, Захаров, 2009; Экосистемные услуги наземных..., 2013], Н. Н. Лукьянчикова, И. М. Потравного [Лукьянчиков, Потравный, 2007], Е. Н. Буквареву, Д. Г. Замолодчикова [Букарева, Замолодчиков 2016], О. Е. Медведева [Медведева, 1998], А. А. Тишкова [Тишков, 2010], Р. А. Перелет [Перелет, 2002], Ю. Г. Пузаченко [Пузаченко, 2012], Т.В. Тихонову [Тихонова, 2018], В. Г. Суховольского [Суховольский и др., 2022], В. Л. Злобину, В. В. Киселеву [Злобина, Киселева, 2008] и др.

В 2015 году подготовлен пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации» [Пятый национальный доклад..., 2015]. Доклад являлся важным источником информации для промежуточного обзора результатов осуществления Стратегического плана в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011–2020 годы. Также, одним из основных результатов работы российских исследователей стало их участие в реализации международного проекта ТЕЕВ [ТЕЕВ, 2010]. Результатом данной деятельности для Российской Федерации стало формирование Прототипа национального доклада «Экосистемные услуги России» [Букарева, 2016]. Однако в указанном документе приведённые оценки носят иллюстративный характер, демонстрируя возможные методические подходы, и требуют существенной корректировки и уточнения на практике.

Изучая зарубежную практику проблематики в отношении природных ресурсов и экосистемных услуг, следует отметить работы следующих ученых: R. Costanza [The value of..., 1997], K. Brauman [Brauman, Meulen, Brils, 2014], C. J. Vörösmarty et al. [Global threats to..., 2010], M. A. Palmer, Ruhi A [Palmer, Ruhi, 2019], Bark R. H. [Integrated valuation of..., 2016], T. Hayha [Assessing, valuing, and..., 2015] и др. Популяризация концепции экосистемных услуг привела к внедрению экосистемных подходов в практику принятия управленческих решений [ТЕЕВ, 2010; IPBES, 2019; Mapping ecosystem services..., 2012].

Таким образом, несмотря на обширный массив зарубежных и отечественных исследований в сфере анализа природных ресурсов, методологические аспекты анализа

экосистемных услуг остаются недостаточно разработанными. Комплексный анализ всего спектра экосистемных услуг невозможен в рамках единого подхода. Существующие исследования представляют собой совокупность различных методик анализа, а также критериев выделения конкретных экосистем, их классификации и формирования итогового перечня предоставляемых ими услуг.

Цель исследования – комплексный анализ трансформации ключевых регулирующих экосистемных услуг с применением геоинформационных технологий и методов пространственного моделирования, в бассейнах рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи, подвергшихся интенсивному антропогенному воздействию в результате вооруженных конфликтов.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Проанализировать существующие подходы и сформулировать теоретико-методическую основу для анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек.
2. Разработать методику анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек, базирующуюся на материалах дистанционного зондирования с использованием геоинформационного моделирования и полевых исследований, а также адаптировать ее для постконфликтных территорий бассейнов рек.
3. Изучить физико-географические и исторические факторы формирования ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи.
4. Провести анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг речных бассейнов Эль-Аси (Оронт) и Сунжи, выявив их динамику в постконфликтных условиях.
5. Выработать рекомендации по устойчивому развитию речных бассейнов исследуемой территории на основе анализа и картографирования ключевых регулирующих экосистемных услуг для обеспечения экологической устойчивости и повышения потенциала регулирующих экосистемных услуг на деградированных территориях.

Объект исследования – территории бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи.

Предмет исследования – динамика ключевых регулирующих экосистемных услуг территории бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи, пострадавших от вооруженных конфликтов.

Научная новизна. Впервые для территорий бассейнов рек, разработана комплексная методика пространственно-временного анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг, интегрирующая анализ динамики наземного покрова на основе многолетних рядов спутниковых данных и ГИС-моделирование (включая модули InVEST). Отличительной особенностью данного исследования является анализ регулирующих экосистемных услуг для территорий, подвергшихся интенсивному вооруженному воздействию.

Впервые проведен анализ трансформации экосистемных услуг под воздействием вооруженных конфликтов в речных бассейнах.

Впервые выявлены изменения и особенности восстановления ключевых регулирующих экосистемных услуг в постконфликтный период, обусловленные как прямыми повреждениями ландшафтов, так и опосредованными социально-экономическими факторами (изменение природопользования, миграции, инфраструктурные потери).

Продемонстрированы возможности использования облачной платформы Google Earth Engine в сочетании с алгоритмами ГИС для оперативного мониторинга и анализа регулирующих экосистемных услуг на обширных и труднодоступных постконфликтных территориях, которые дополняют традиционные полевые методы.

Теоретическая значимость работы. В работе систематизирован накопленный отечественными и зарубежными исследователями опыт изучения и проведения анализа экосистемных услуг в границах речных бассейнов. Разработана методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг в пределах речного бассейна на основе выбора ключевых критериев. Впервые для бассейнов, пострадавших от вооруженных конфликтов, проведен анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг на основе методов геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования в сочетании с методами полевых исследований. Показана возможность использования ГИС и технологий облачных вычислений, при проведении анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг речных бассейнов. Результаты исследования углубляют и расширяют представления о ключевых регулирующих экосистемных услугах трансграничных бассейнов рек Северного Кавказа (Россия, Грузия) и Ближнего Востока (Сирийской Арабской Республике, Турции, Ливана).

Практическая значимость работы. Для бассейнов рек, пострадавших от вооруженных конфликтов, впервые разработана и апробирована методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг – получены новые серии карт, отражающие динамику экосистемных услуг. Показана возможность практического применения методики анализа регулирующих экосистемных услуг на основе набора критериев. Использование ГИС и облачных технологий, позволяет выделять и актуализировать границы водосборных бассейнов, что необходимо для планирования и управления водными ресурсами, определения предоставляемых экосистемных услуг и принятия мер по их защите. Разработанные и усовершенствованные методики анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг речного бассейна позволяют оценивать состояние различных компонентов природы, а также различные блага, предоставляемые ландшафтами в пределах речного бассейна. Это может помочь идентифицировать проблемные участки территории, разработать эффективные меры по улучшению экологической ситуации и принять необходимые управленческие решения для разработки устойчивых стратегий

управления речными бассейнами и их охраны. Результаты диссертационной работы могут иметь широкое практическое применение в муниципальных и региональных органах власти в целях минимизации возможных последствий и рисков, а также для выполнения функций контроля в области охраны окружающей среды. Это может помочь улучшить планирование и принятие решений в области управления бассейнами и охраны природы в пределах бассейнов рек.

Разработанная в исследовании методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг обладает свойством универсальности и масштабируемости, что позволяет применять её для анализа различных бассейнов рек, находящихся в различных физико-географических условиях. Ключевым фактором универсальности является опора на стандартизированные, глобально доступные данные дистанционного зондирования (Landsat, Sentinel, MODIS) и открытые геопространственные платформы (Google Earth Engine), что обеспечивает воспроизводимость методики независимо от локальной доступности наземных измерений. Использование модуля InVEST, как инструментария, специально разработанного для пространственного анализа экосистемных услуг, в сочетании с ГИС-системами (ArcGIS, QGIS, SAGA) для учета специфики бассейна (морфометрия, почвы, растительность, климат) и калибровки моделей на основе выборочных полевых данных, обеспечивает гибкость и применимость методики к речным системам с различной структурой землепользования и уровнем антропогенной трансформации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная методика комплексного анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг, основанная на интеграции полевых методов исследования, ГИС-технологий и моделирования InVEST, обеспечивает анализ трансформации экосистемных услуг на постконфликтных территориях.

2. Предложенная система критериев анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг, позволяет комплексно учитывать как прямые последствия вооруженных конфликтов (изменение количества углерода в ландшафтах, динамику растительного покрова, изменение гидрологического режима), так и опосредованные эффекты (трансформация исторических, социально-экономических процессов и условий природопользования).

3. Восстановительная динамика ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек характеризуется пространственно-временной неоднородностью: наиболее не устойчивыми к вооруженному воздействию оказались регуляция лесного покрова и обеспечение пресной водой. Эффективное восстановление ключевых регулирующих экосистемных услуг в постконфликтный период требует комплексного подхода, включающего

лесовосстановительные мероприятия, организацию системы мониторинга и проведение научных исследований.

Методология и методы исследования. Работа основана на фундаментальных исследованиях в области изучения экосистемных услуг, геоэкологии, гидрологии, физической географии, базовых концепциях ландшафтоведения и ландшафтной экологии. Для достижения всех поставленных задач, были использованы следующие методы исследования: литературно-аналитический, картографический, картометрический, геоинформационный (программный комплекс продуктов ArcGIS, QGIS, SAGA, платформа облачных вычислений Google Earth Engine), аэрокосмические методы (загрузка и анализ космических снимков высокого разрешения Landsat, Sentinel, MODIS, модуль InVEST), математические, статистические (программное обеспечение для статистической обработки полученных данных (R Studio, Microsoft Excel)), а также полевые методы исследования. Методологической основой исследования выступают представления об экосистемных услугах [The value of..., 1997; Руководство по экономической..., 2013; Brauman, 2014; Global threats to..., 2010; Palmer, 2019; Allan, 2004; MEA, 2005; Bark, 2016; Hayha, 2015] и применении геоинформационных технологий. В основу работы легли результаты собственных исследований автора за период с 2022 по 2025 гг. Диссертационная работа представляет собой комплексное, всесторонне изучение постконфликтных речных бассейнов и их ключевых регулирующих экосистемных услуг.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: Работа соответствует паспорту специальности 1.6.21 «Геоэкология» по следующим пунктам: п.1. Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. п.2. Изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек Земли под влиянием природных и техногенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. п.3. Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества и разработка научных основ регулирования качества состояния окружающей среды. п. 5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны; п. 6. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли; п. 7. Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов, функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем; п. 11. Оценка

экологического состояния и управление современными ландшафтами. Глобальные и региональные изменения ландшафтно-климатических условий среды обитания в антропоцене; п. 14. Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды; п. 16. Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов. Современные методы геоэкологического картирования, ГИС технологии и информационные системы в геоэкологии.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Работа выполнена автором в течение 2022–2025 гг. Основные результаты диссертационной работы нашли отражение при реализации крупного научного проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» (Соглашение № 075-15-2024-644) и темы государственного задания «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0). Апробация материалов исследования проведена на конференциях: Всероссийская научная конференция, посвященная 30-летию Карадагского ландшафтно-экологического стационара «Экспериментальное ландшафтоведение: теория, методология, практика» (Республика Крым, г. Феодосия, 25–29 сентября 2023 г.), I Белорусский географический конгресс к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества (Минск, 8–13 апреля 2024 г.), XIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, (г. Махачкала, 18–20 сентября 2024 г.); I Международная научная конференция «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования» (Севастополь, 25 октября 2024 г.), II Международная научная конференция «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования» (Грозный, 25 декабря 2024 г.), XI Международная научно-практическая конференция «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование» (Москва, 2-3 апреля 2025 г.), V Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «География – от теории к практике» (Луганск, 14 – 15 апреля 2025 г.), III Международная научная конференция «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования»

(Республика Крым, г. Феодосия, пгт Курортное 24-25 апреля 2025 г.), Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Фундаментальные и прикладные исследования в ботанике, экологии, растениеводстве» ФГБУН «НБС-ННЦ» (Республика Крым, г. Ялта, 26-30 мая 2025 г.), III Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2025» (г. Москва, 4-6 июня 2025 г.), Международная Тебердинская научно-практическая конференция «Проблемы устойчивого развития горных территорий в условиях глобальных изменений» (КЧР, г. Теберда, г. Карачаевск, 1-5 июля 2025 г.), XV Международная научная конференция «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (ГЕОКАВКАЗ-2025) (г. Владикавказ, 06-08 октября 2025 г.), XIV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием для молодых учёных, посвящённая 185-летию со дня рождения А. О. Ковалевского и В. Н. Ульянина «Понт Эвксинский – 2025» (г. Севастополь, 6-10 октября 2025 г.), XV Международная научная конференция «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (ГЕОКАВКАЗ-2025), посвященная юбилею д.ф.-м.н., профессора, Заслуженного геолога РФ И.А. Керимова (г. Владикавказ, 06-08 октября 2025 г.).

Публикации. По теме работы опубликовано 16 работ, в том числе 5 работ в изданиях Scopus и Web of Science, 3 статьи в журналах из перечня ВАК.

Объем и структура работы. Общий объем основной части работы составляет 156 страниц машинописного текста. Работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы, состоящего из 221 наименования. Работа включает 58 рисунков и 11 таблиц.

Автор выражает искреннюю **благодарность** сотрудникам лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» и научному руководителю, д.г.н. Р.В. Горбунову за поддержку и помощь в написании работы. Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, а также директору Института природных ресурсов Академии наук Чеченской Республики д.г.н. У.Т. Гайрабекову, профессору Дагестанского государственного педагогического института, к.г.н. З.В. Атаеву и в.н.с. Института географии РАН, д.г.н. А.Н. Гуне за неоценимую помощь в организации полевых исследований, передачу уникального научного опыта и ценных знаний в области геоэкологии и природопользования.

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ НА ПОСТКОНФЛИКТНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

1.1. Понятие и классификация экосистемных услуг в отечественных и зарубежных источниках. Регулирующие экосистемные услуги

На протяжении истории человечества люди понимали, что их благополучие связано с функционированием окружающих их ландшафтов. Усиление антропогенного воздействия на ландшафты во всем мире и на предоставление услуг, которые они оказывают – подчеркнуло необходимость выйти за рамки простого признания зависимости человека от окружающей среды и создать более устойчивые взаимодействия [The Nature and..., 2007; Daily, 1997].

Человеческая деятельность изменила почти 75% поверхности Земли. По данным Отчета о глобальной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг за 2019 год, около 1 миллиона видов животных и растений находятся под угрозой исчезновения, и многие из них - под угрозой исчезновения в течение ближайших десятилетий [Гагарина, 2023]. Стремительная деградация экосистем во всем мире привела к тому, что люди конкурируют за все более дефицитные природные ресурсы, компании сталкиваются с незапланированным повышением производственных издержек и, следовательно, снижением прибыли из-за изменений ландшафтов, а правительства вынуждены инвестировать в инфраструктуру, чтобы заменить услуги, которые раньше предоставлялись окружающей средой бесплатно [Assessing, valuing, and..., 2011].

«Увеличение численности населения Земли и, как следствие, антропогенной нагрузки на природные ландшафты, а также ограниченность ресурсов планеты обусловили создание и развитие концепции экосистемных услуг (англ. – ecosystem services). Суть концепции заключается в учете широкого спектра функций природного капитала в процессах принятия решений и обеспечения устойчивого природопользования в целях противодействия деградации естественных условий жизни» [Тихонова, 2018]. Предоставление экосистемных услуг зависит от биофизических условий и изменений в пространстве и времени вследствие антропогенного влияния на качество почвенного покрова, землепользование, а также климатических изменений [Mapping ecosystem service..., 2012]. Как отмечает Т. В. Тихонова, концепции экосистемных услуг присущи междисциплинарный характер и отражение экологических и социально-экономических аспектов [Тихонова, 2018].

Истоки становления концепции экосистемных услуг прослеживаются с 1970-х гг., когда в научной литературе возник ряд новых определений и терминов [Assessing water ecosystem..., 2016]. Термин «услуги природы» впервые появился в зарубежной научной литературе в 1977 г. в статье «Сколько стоят услуги природы?» У. Вестмана в журнале Science, а термин «экосистемные услуги» впервые был использован в книге «Вымирание: причины и последствия исчезновения видов» [Ehrlich, 1981]. Однако аналогичные идеи обсуждались в научных публикациях на протяжении многих десятилетий ранее. В 1980 г. Всемирная союз охраны природы (МСОП) прямо использовал понятие товаров и услуг, предоставляемых экосистемами в связи с организацией устойчивого лесопользования и использования оценок ландшафтов для реализации эффективного природопользования [IUCN, 1980]. Более 20 лет назад вышли две основополагающие зарубежные публикации об экосистемных услугах: книга G. Daily [Daily, 1997] и статья «О ценности мировых экосистемных услуг» [The value of..., 1997] в журнале «Nature». Данные публикации обусловили стремительный рост исследований в этом направлении, включая создание специального тематического журнала «Ecosystem Services» [Кузьмичев, Трушина, Трушина, 2021].

Экосистемы предоставляют широкий спектр услуг, многие из которых имеют фундаментальное значение для благополучия человека, здоровья, средств к существованию и выживанию [The value of..., 1997; Оценка экосистем на..., 2005; TEEB Foundations, 2010; Global estimates of..., 2012]. Это связано с запасами возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, имеющихся в атмосфере, на суше и в океанах [NCC, 2005]. Ландшафты обеспечивают население материальными благами, необходимыми для повседневной жизни, такими как продукты питания, древесина, шерсть, лекарства и т.д., а также такими фундаментальными, как приток чистой воды, защита от наводнений или других опасностей (эрозия почвы, оползни, цунами), способствуют духовному благополучию благодаря своей культурной или религиозной значимости, а также возможностями, которые они предоставляют для отдыха или наслаждения природой. [Haines-Young, Potschin, 2019]. Природные и управляемые ландшафты обеспечивают физическое, эмоциональное и экономическое благополучие человеческих обществ посредством выгод, известных как экосистемные услуги [Ehrlich, Ehrlich, 1981]. Очевидно, что интенсивность различных элементов услуг будет несколько отличаться в зависимости от типа ландшафта, будь то, ненарушенная природная территория или в значительной степени модифицированный сельскохозяйственный ландшафт. Однако все функциональные ландшафты включают эти существенные компоненты, которые могут быть восприняты как «природный капитал» или базовые активы, обеспечивающие «поток» экосистемных услуг [Розенберг, 2016].

Для систематизации и анализа взаимосвязей между природными системами и благополучием человеческого общества используется терминология, включающая понятия

«экосистемные функции», «экологические функции», «природный капитал», а также «экосистемные услуги».

«Экосистемные функции» определяются как естественные процессы, обеспечивающие устойчивость ландшафтов, включая круговорот веществ, первичную продуктивность и регуляцию популяций [Литвинова, Игнатъева, Коротеев, 2016].

Стоит отметить, что термин «экосистемные функции» часто употребляют равнозначно и взаимозаменяемо с термином «экологические функции» [Бобылев, Захаров, 2009], но существуют важные различия - экологические функции присущи внутренним свойствам экосистем, в качестве ключевого компонента экологической целостности, также они являются своего рода мостом между природным и социальным капиталом, через свою способность предоставлять экосистемные услуги [Розенберг, 2016].

«Экологические функции» представляют собой внутренние процессы и свойства экосистем, обеспечивающие их целостность и устойчивость, такие как круговорот питательных веществ, фотосинтез или регуляция гидрологического режима [De Groot, 1987]. Эти функции существуют объективно, независимо от человеческой деятельности, и формируют основу для функционирования биосферы.

Природный капитал (англ. natural capital; естественный капитал) относится к тем параметрам ландшафтов, которые выступают в качестве экосистемных функций и способны оказывать экосистемные услуги для общества. Природный капитал представляет собой совокупность возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов, экологических систем и их компонентов, которые формируют основу для устойчивого функционирования биосферы и обеспечивают поток жизненно важных благ и услуг для человеческого общества [What are Ecosystem..., 1974; Ehrlich, 1992].

На сегодняшний день определение термина «экосистемные услуги» остается дискуссионным – совокупного или определенного понятия для определения экосистемных услуг не существует до сих пор [Зиновьева, 2020]. Эволюция определений (табл.1.1) и классификаций (табл.1.2) экосистемных услуг показывает всестороннее рассмотрение концепции с различных научных и практических точек зрения.

Таблица 1.1 – Определения термина «экосистемные услуги» в различных источниках

Определение	Автор
Экосистемные услуги – это «выгоды, предоставляемые людям в результате преобразования ресурсов (или экологических	Costanza et al. [The value of..., 1997]

активов, включая землю, воду, растительность и атмосферу) в поток товаров первой необходимости и услуг, таких как чистый воздух, вода и продукты питания».	
Экосистемные услуги – это «состояния и процессы, посредством которых естественные экосистемы, а также существа, которые обитают в экосистемах, фактически и осуществляют существование человечества».	Daily [Daily, 1997]
Экосистемные услуги – это «выгоды, которые люди получают от экосистем. Они включают в себя предоставление, регулирование и культурные услуги, которые непосредственно влияют на людей, а также вспомогательные услуги, необходимые для поддержания других услуг».	Классификация MEA [MEA, 2005]
Экосистемные услуги – это «множество выгод, больших и малых, прямых и косвенных, которые экосистемы предоставляют людям. Они включают в себя все природные продукты и процессы, которые способствуют благосостоянию человека, а также личное и общественное наслаждение, получаемое от природы».	Landsberg et al. [Ecosystem services review..., 2011]
Экосистемные услуги – это «все виды материальных и нематериальных благ, которые человек получает от живой природы – экосистем и видов живых организмов. Концепция экосистемных услуг позволяет оптимизировать природопользование, устойчиво используя и не разрушая живую природу».	Экосистемные услуги России (ТЕЕВ-RUSSIA) [Экосистемные услуги России..., 2012]
Экосистемные услуги – это «польза, которую человек получает от функционирования природных экосистем».	Букварёва, Замолотчиков [Букварёва, Замолотчиков, 2016]

Продолжение таблицы 1.1

Экосистемные услуги – «вклад, который экосистемы вносят в благосостояние человека, и отличаются от товаров и выгод, которые люди впоследствии получают от них. Этот вклад определяется в терминах «того, что экосистемы делают» для людей».	CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) [Haines-Young, 2018]
Экосистемные услуги – «вклад функций экосистем в благосостояние человека в сочетании с другими факторами».	Бобылев, Захаров [Бобылев, Захаров, 2009]
Экосистемные услуги – это «совокупность материальных (топливо, чистая пресная вода, продукты питания и др.) и нематериальных (регулирование климата, контроль эрозии и наводнений, круговорот питательных веществ в природе и др.) благ, получаемых обществом от экосистем».	Лелькова, Пакина [Лелькова, Пакина, 2020]

Стоит отметить, что данные определения объединяет попытка связать экосистемные услуги с выгодами и благосостоянием человека. В последнее время наибольшее распространение получило определение, представленное в МЕА, как глобальной площадки по оценке последствия изменения экосистем для благополучия человека и разработке научной основы политики улучшения, сохранения и устойчивого использования экосистем и их вклада в благополучие человека [МЕА, 2005; Кузьмичев, Трушина, Трушина, 2021]. В предлагаемом определении подчеркивается антропоцентрический подход, прямая и опосредованная зависимость человеческого общества от услуг ландшафтов, которые преобразуются в конкретные выгоды. В данной работе будет использовано определение экосистемных услуг, сформулированное МЕА.

Несмотря на значительное количество исследований в области экосистемных услуг, в настоящее время еще не выработано их единой классификации (табл. 1.2). Связано это с тем, что в работах представлены разные масштабы и различные определения, которые впоследствии нелегко сравнивать [Defining and measuring, 2016; Зиновьева, 2020].

Таблица 1.2 – Классификации экосистемных услуг

Описание классификации	Автор
В работе «Природные услуги: зависимость общества от природных экосистем» была предложена классификация экосистемных услуг, которая включает четыре группы: - производство товаров (пища, фармацевтика, энергия, промышленные товары, долговечные материалы, долговечные материалы и т.д.); - процессы регенерации (фильтрация, генерация и возобновление плодородия почвы; разброс семян, необходимых для рекультивации, стабильность речных и прибрежных экосистем и т.д.) - полноценная жизнь (эстетическая красота, культурные, интеллектуальные и духовные ценности; ценность жизни; научное открытие; безмятежность); - сохранение экологических благ (поддержание экологических систем и компонентов, необходимых для будущих поставок товаров и услуг и т.д.).	Daily [Daily, 1997]
Услуги по обеспечению (Provisioning Services) - продукты, получаемые из экосистем, в том числе: продукты питания и волокна, топливо, генетические ресурсы, биохимические вещества, натуральные лекарства и фармацевтические препараты, декоративные ресурсы, пресная вода. Регулирующие услуги (Regulating services) - выгоды, получаемые в результате регулирования экосистемных процессов, включая: поддержание качества воздуха, регулирование климата, регулирование водных ресурсов, борьба с эрозией, очистка воды и переработка отходов, борьба с болезнями человека, биологический контроль, опыление, защита от штормов. Культурные услуги (Cultural services) - нематериальные блага, которые люди получают от экосистем посредством духовного обогащения, когнитивного развития, рефлексии, отдыха и эстетических переживаний, включая культурное разнообразие. духовные и религиозные ценности, системы знаний (традиционные и формальные), образовательные ценности, вдохновение, эстетические ценности, социальные отношения, чувство места, ценности культурного наследия, отдых и экотуризм. Вспомогательные услуги (Supporting services) – это те услуги, которые необходимы для производства всех другие экосистемные услуги. Они	Классификация MEA [MEA, 2005]

отличаются от услуг в области обеспечения, регулирования и культуры тем, что их воздействие на людей является либо косвенным, либо происходит в течение очень длительного времени, в то время как изменения в других категориях оказывают относительно прямое и краткосрочное воздействие на людей.	
Услуги по предоставлению полезных продуктов – например, дары природы, сельскохозяйственные культуры и лекарства растительного происхождения. Регулятивные услуги – например, фильтрация загрязнений водно-болотными угодьями, регулирование климата путем связывания углерода и круговорота воды, опыление и защита от стихийных бедствий. Культурные услуги – например, отдых, духовные и эстетические ценности, образование. Вспомогательные услуги – например, формирование почвы, фотосинтез и круговорот питательных веществ.	Экосистемные услуги России (TEEB-RUSSIA) [Экосистемные услуги России..., 2012]
Услуги по обеспечению (Provisioning services) – это товары или продукции, получаемые из экосистем, такие как продовольствие, древесина, медикаменты, волокно и пресная вода. Регулирующие услуги (Regulating services) – это выгоды, получаемые от контроля экосистемой природных процессов, таких как климат, болезни, эрозия, водные потоки и опыление, а также защита от стихийных бедствий. Культурные услуги (Cultural services) – это нематериальные блага, получаемые от экосистем, такие как отдых, духовные ценности, и эстетическое наслаждение. Вспомогательные услуги (Supporting services) – это естественные процессы, которые поддерживают другие экосистемные услуги, такие как круговорот питательных веществ и первичное производство.	Landsberg et al. [Ecosystem services review..., 2011]
Услуги по обеспечению: все пищевые, материальные и энергетические продукты, производимые живыми системами. В предлагаемой структуре проводится различие между продуктами обеспечения, возникающими в результате из биологических материалов (биомассы) и воды. Регулирование и поддержание: охватывает все способы, с помощью которых живые организмы могут оказывать посреднические услуги. или	Common International Classification of Ecosystem Services [Haines-Young, 2013]

смягчать окружающую среду, влияющую на работоспособность человека. Таким образом, речь идет о деградации отходов и токсичных веществ в результате использования процессов жизнедеятельности; в этом смысле, воссоединение потоков отходов с процессами жизнедеятельности является противоположностью обеспечению. Культурные услуги: охватывают все нематериальные и, как правило, непотребительские услуги, предоставляемые экосистемы, которые влияют на физическое и психическое состояние людей.	
Услуги обеспечения (снабжения) включают важные биологические ресурсы, которыми напрямую пользуется население для существования и экономического развития, включая пищу, топливо, воду, сырье для фармацевтической промышленности и другие. Культурные и социальные услуги важны для человеческого существования с точки зрения духовного и физического состояния. К ним относятся туризм и отдых, а также духовные услуги, как, например, святые места (захоронения), почитаемые культурные и архитектурные памятники. Кроме того, данная категория включает ландшафтные ценности и красоту экосистемы, которая может воодушевить на искусство и служить ресурсом для научных исследований и образования. Регулирующие услуги (функции) менее заметные, но, возможно, наиболее важные с точки зрения экологической и экономической ценности. Они включают в себя регулирование и очистку воды и качества воздуха, защиту от эрозии, обвалов и штормов, контроль за здоровьем населения и биологический контроль, а также процесс опыления растений и поддержание видового и генетического разнообразия путем предоставления мест обитания, убежища и пропитания для насекомых, птиц и животных. Поддерживающие услуги необходимы для предоставления всех остальных экосистемных услуг – они поддерживают работу экосистемы в целом. Это процессы воспроизводства и разложения веществ, круговорот воды в природе, выветривание, эрозия почв, а также экологические взаимодействия (например, взаимодействия видов, живущих в одном сообществе). Очень часто данные услуги не учитываются и автоматически считаются частью основных услуг (например, предоставление питьевой воды предусматривает функцию	Региональный экологический центр центральной Азии [Руководство по экономической ..., 2013]

разложения, или регулирование воды включает в себя круговорот воды в природе).	
В Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России (2001), выделены четыре группы жизнеобеспечивающих функций биологического разнообразия, где понимание жизнеобеспечивающих функций близко к понятию экосистемных услуг. В классификациях большинства российских исследователей (Замолотчиков, Павлов, Букварева, Тишков и др.) так же, как и в национальной стратегии сохранения биоразнообразия России отсутствуют услуги по сохранению местообитаний и генофондов, так как по смыслу их надо отнести не к услугам, а к экологическим процессам или структурам [12].	Зиновьева [Зиновьева, 2020]
- регулирование химического состава атмосферы; - регулирование климата (глобальной температуры, осадков и др.); - регулирование (предотвращение) катастрофических явлений окружающей среды (штормов, наводнений, засух и пр.); - регулирование водных ресурсов; водоснабжение; - борьба с эрозией и удержание отложений; - почвообразование; - обеспечение круговорота питательных веществ, включая детритофикацию биомассы; - опыление, предоставление опылителей для воспроизводства популяций растений; - биологический контроль, трофико-динамические регуляции популяций; - обеспечение экотопов (местообитаний) для постоянных и мигрирующих видов; - производство продуктов питания - часть валовой первичной продукции, извлекаемая в виде еды; - производство сырья - часть валовой первичной продукции, которую можно извлечь в виде сырья; - генетические ресурсы, источники наследуемых биоматериалов для селекции, фармакологии, растениеводства и др.; - обеспечение возможностей для отдыха; - эстетические, художественные, образовательные, духовные и/или научные ценности экосистемы.	Кузьмичев, Трушина, Трушина [Кузьмичев, Трушина, 2021]

Анализ существующих принципов классификации экосистемных услуг позволяет заключить, что укоренившаяся в научной практике система четырёх ключевых категорий — обеспечивающих, регулирующих, культурных и поддерживающих — с высокой степенью репрезентативности охватывает всю совокупность благ, генерируемых природными экосистемами для человеческого общества.

Выгоды от экосистемных услуг ландшафтов проявляются на разных уровнях, пользователи также могут быть самыми различными. На местном уровне экосистемные услуги часто являются основой для жизни и пропитания в сельской местности, особенно для бедных слоев населения. В глобальном масштабе ландшафты регулируют климат и поддерживают биологическое разнообразие, которое лежит в основе создания биологической продукции [Экосистемные услуги..., 2012].

В настоящее время нет единой методологии и подхода к оценке экосистемных услуг, а использование существующих дает результаты, которые разнятся в десятки раз [Семенюк, Бодров, Стома, 2019]. Интегрированное, динамическое, пространственное компьютерное моделирование все чаще используется в качестве инструмента для решения сложных взаимодействий, которые приводят к возникновению экосистемных услуг [The Multiscale Integrated..., 2015; A review of..., 2016]. Оценка экосистемных услуг не обязательно является денежной [Ecosystem Services and..., 2013]. Неденежная (немонетарная) оценка экосистемных услуг (иногда называемая социокультурной) охватывает набор методов, направленных на выявление важности экосистемных услуг с использованием показателей, отличающихся от денег [Кузьмичев, Трушина, Трушина, 2021]. Регулирующие экосистемные услуги, такие как поддержание качества воздуха, формирование водных ресурсов, обеспечение биоразнообразия и биогеохимических циклов, являются системообразующими для устойчивости биосферы, однако их оценка в денежном эквиваленте методологически некорректна, поскольку они обладают свойствами невзаимозаменяемости, уникальности и не имеют аналогов, созданных искусственно [Бобылев, Захаров, 2015]. По отношению к функционированию экосистемных услуг различают три вида анализа: экологический (способность экосистем выполнять свои функции), экономический (интегрированную в механизмы принятия решений и привычные для рынка) и социальный (обеспечение согласованных решений для общества и снятие конфликтов) [kosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden..., 2013; Jacobs, Dendoncker, Keune, 2014]. С точки зрения анализа экосистемных услуг, в настоящее время получили распространение следующие методы оценки: экономическая, территориальное моделирование и картирование, создание сценариев развития [Тихонова, 2018]. Также, анализ экосистемных услуг может быть выражен в денежных единицах, единицах времени, единицах труда или в относительных единицах с использованием различных показателей. Эти индикаторы можно использовать для определения

приоритетов и сравнения экосистем и их услуг на основе их относительного вклада в достижение индивидуальных или социальных целей [Кузьмичев, Трушина, Трушина, 2021]. Оценка в широком смысле дает представление о том, насколько нынешнее состояние отклоняется от желаемого или запланированного [Erfassung und Bewertung..., 2014]. Центральным элементом данного исследования является комплексный экологический анализ регулирующих экосистемных услуг, уделяющий особое внимание их пространственной неоднородности и временной изменчивости, применяющий территориальное моделирование и картирование.

Регулирующие экосистемные услуги. В данном исследовании анализируется динамика одного из видов экосистемных услуг в рамках классификации МЕА – регулирующих, так как они имеют фундаментальную роль в стабилизации экологических условий, что создает основу для предоставления всех прочих категорий экосистемных услуг и напрямую влияет на благосостояние человека. Регулирующие услуги показывают, как ландшафты влияют на движение и функционирование более крупных систем, которые, в свою очередь, влияют на жизнь людей. По МЕА [МЕА, 2005] к ним относятся:

- Регулирование климата: Источник и поглотитель парниковых газов; влияние на местные и региональные температуру, осадки и другие климатические процессы.
- Регулирование водного режима (гидрологические потоки): Пополнение и разгрузка запасов грунтовых вод.
- Очистка воды и переработка отходов: Удержание, восстановление и удаление избыточных питательных веществ и других загрязняющих веществ.
- Регулирование эрозии: Удержание почв и донных отложений.
- Регулирование природных опасностей: Контроль наводнений, защита от штормов.
- Опыление: Обеспечение среды обитания для опылителей.

Стоит отметить, что в труде «Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации» [Стратегия и План..., 2014] указано, что важнейшими экосистемными услугами являются именно средообразующие (регулирующие). Они обеспечивают поддержание стабильных условий среды, от которых зависят возможности экономического развития регионов, здоровье и качество жизни населения. Климаторегулирующие и водорегулирующие услуги создают основу для ведения сельского хозяйства. Услуги, снижающие вероятность и силу природных чрезвычайных ситуаций, минимизируют угрозы для жизни и здоровья людей и ущерб, который может быть нанесен экономике в целом.

1.2. Влияние вооружённых конфликтов на оказание экосистемных услуг в речных бассейнах и опыт их анализа на постконфликтных территориях

Одним из специфических и широко распространенных видов антропогенного влияния является вооруженный конфликт, который приводит к деградации природно-территориальных комплексов [Война с природой..., 2003].

Разнообразие антропогенных ландшафтов исследовано в научных трудах Ф.Н. Милькова, который первым предложил выделить семь классов ландшафтов, возникающих в результате деятельности человека: сельскохозяйственные, промышленные, водные, лесные, селитебные, бelligеративные, дорожные [Мильков, 1973]. Преображенский В.С., один из ведущих исследователей в этой области, предложил классификацию, основанную на степени антропогенного воздействия и характере преобразованности природных систем. Он выделяет несколько основных типов и антропогенных ландшафтов: рекреационные, селитебные, водохозяйственные (водные), сельскохозяйственные, лесные, техногенные, линейно-дорожные и бelligеративные [Нагалеvский, Нагалеvский, Голубятникова, 2023]. Бelligеративные ландшафты – ландшафты, которые формируются в результате ведения боевых действий. К ним относятся остатки воронок взрыва, окопов, траншей, противотанковых рвов и других следов вооруженных конфликтов [Вагапова, 2021]. Эти объекты выступают материальными маркерами исторических событий, оказывая долгосрочное влияние на структуру почвенного покрова, гидрологические режимы и биотические сообщества. Однако методологическая рамка работы предполагает анализ на региональном уровне исследования, ориентированный на выявление пространственных закономерностей распределения таких ландшафтов для крупных территориальных систем, а не на детальное изучение морфологии или экологических последствий отдельных военных объектов. Подобный подход позволяет интегрировать бelligеративные ландшафты в общую схему антропогенной трансформации территории, рассматривая их как компонент кумулятивного воздействия человеческой деятельности, но исключает локальную реконструкцию постконфликтных изменений, требующую применения крупномасштабных методов полевых исследований.

В современной научной парадигме проблемы деградации ландшафтов перестали ограничиваться дискуссиями о значимости природоохранной деятельности, трансформировавшись в центральный элемент анализа устойчивого развития человечества. Данный концептуальный сдвиг подчеркивает неразрывную взаимосвязь между сохранением экологического баланса и обеспечением долгосрочного социально-экономического благополучия, поскольку дестабилизация природных систем напрямую влияет на базовые условия существования цивилизации, включая климатические регуляторные механизмы,

биогеохимические циклы и ресурсную базу. Воздействие вооруженных конфликтов на окружающую среду признавалось на протяжении тысячелетий, при этом особенно распространенным явлением было преднамеренное уничтожение или деградация природных ресурсов, таких как леса, сельскохозяйственные культуры и водные источники [The Royal Institute..., 2014].

В последнее время усиливается давление на природную среду в сочетании с изменениями в характере самих вооруженных конфликтов, что делает более важным тщательное и научное исследование связей между вооруженными конфликтами и окружающей средой [The Royal Institute..., 2014].

Важнейшими экологическими угрозами, вызванными расширением производственной и вооруженной деятельности человечества, являются загрязнение атмосферы и водных ресурсов, повышение естественного радиационного фона, захоронение отходов экологически опасных производств (в том числе атомной и химической промышленности), последствия испытания оружия массового поражения и оружия на новых физических принципах [Кузьмин, 2010].

В результате воздействия вооруженных конфликтов на окружающую среду утрата экосистемных услуг оборачивается значительными издержками для человечества [The Royal Institute..., 2014]. Наиболее значимые последствия экологического ущерба заключаются в потере экосистемных услуг, которые эти ресурсы предоставляют как в текущий момент, так и в долгосрочной перспективе. Эти услуги являются основой для функционирования как региональных, так и глобальных социально-экономических систем. Самые уязвимые слои населения в наибольшей степени зависят от обеспечения экосистемными услугами, поэтому потеря данных услуг может привести к социальным трудностям, а зачастую и к экологическим и техногенным катастрофам. [Руководство по экономической..., 2013]

Существуют различные исследования влияния вооруженных конфликтов на ландшафты. Для понимания степени воздействия, Machlis and Hanson предложили таксономию военных действий, которые включают подготовительные этапы (обучение, строительство инфраструктуры и материальных средств), участие в боевых действиях (физические акты агрессии и обороны) и постконфликтный период (утилизация оружия и вывод его из эксплуатации, поддержание мира, реконструкция инфраструктуры и т.д.) [The Royal Institute..., 2014]. Если рассматривать исследования конкретных территорий, то в работе [Bayramova, 2024] изучаются различные воздействия на природные компоненты, включая водные источники, почву, недра, минеральные ресурсы Карабахского региона, что серьезно повлияло на природные и экономические структуры региона, ослабив его экономическую инфраструктуру и истощив природные ресурсы. Накопившиеся проблемы в результате вооруженных операций и использования различных видов обычного и нетрадиционного оружия, в дополнение к ущербу,

нанесенному окружающей среде, изучаются в Ираке [Ebthaj, Raad, 2022], в результате начала вооруженных действий во время второй войны в Персидском заливе в 1991 году и ее последствий в вооруженном конфликте 2003 года, а также применение запрещенного на международном уровне оружия были одними из результатов этого вторжения, которое воплотилось в загрязнении почвы, воздуха и воды, напрямую способствовали увеличению загрязнения окружающей среды Ирака и сопутствующим рискам для здоровья и экономики.

На трансформацию геосистем в Чеченской Республике влияют многочисленные факторы, но огромную роль в деградации природных ландшафтов сыграли вооруженные конфликты (Первая и Вторая Чеченские войны).

Очевидно, что между ухудшением состояния окружающей среды, будь то внезапным или долговременным, и конфликтами часто существует причинно-следственная связь. Сотрудничество в области охраны окружающей среды и ее восстановления может содействовать устранению конфликтов и смягчению их последствий, в частности в трансграничном или региональном контексте в связи с проблемой водных ресурсов, например за счет использования бассейнового подхода в отношении рек, сохранения природы, в том числе путем создания так называемых парков мира, предотвращения бедствий или обеспечения устойчивого развития в горных районах. Это также может способствовать процессам установления мира и укрепления доверия в регионах, в которых отмечается напряженность [Партнерство в области..., 2007].

1.3. Выявление и характеристика ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек

Речные бассейны представляют собой сложные природно-антропогенные системы, функционирование которых характеризуется высокой степенью неопределенности, обусловленной множеством взаимодействующих факторов. Эта неопределенность связана как с разнообразием экологических, социальных и экономических процессов, так и с трудностями прогнозирования их пространственно-временного распределения и воздействия [Assessing water ecosystem..., 2016; Brauman, Meulen, Brils, 2014].

Стоит отметить, что с точки зрения геоэкологии, на систему речного бассейна влияет большое количество факторов (размер территории, форма бассейна, физиография, климат, дренаж, землепользование, растительность, геология, почвы, гидрология, гидрогеология, антропогенное влияние и многие другие) [Рычагов, 2006]. Для выявления ключевых критериев анализа регулирующих экосистемных услуг необходимо комплексно анализировать

характеристики речного бассейна, включая его гидрологические особенности (водный режим, сток, сезонные колебания), морфометрические параметры (площадь, форма, уклон), почвенно-растительный покров (типы почв, степень залесённости, биоразнообразие), а также антропогенную нагрузку (землепользование, загрязнение) и т.д.

В ходе проведения исследования автором были выделены ключевые регулирующие экосистемные услуги бассейна реки. Методология выявления экосистемных услуг базируется на интеграции классификаций MEA, CICES и TEEB [MEA, 2005; Haines-Young, 2018; The Economics of..., 2010], работ Kate Brauman [The Nature and..., 2007; Ecosystem Services and..., 2014], Robert Costanza [The value of..., 1997] и Gretchen Daly [Introduction: What are..., 1997] и д.р., с учетом специфики речных бассейнов как сложных природно-антропогенных систем, с учетом их пространственно-временной динамики под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки. Исходя из ландшафтных условий, особенностей природопользования в изучаемых бассейнах рек и структуры землепользования, были выделены следующие основные регулирующие экосистемные услуги:

- Регуляция лесного покрова;
- Депонирование углерода;
- Обеспечение пресной водой;
- Снижение риска наводнений.

Представленные регулирующие экосистемные услуги бассейна реки характеризуются ключевой ролью в поддержании устойчивости природных систем, обеспечивая максимальное количество жизненно важных функций. Данные экосистемные услуги формируют важный природный каркас, непосредственно влияющий на устойчивость экосистем и качество жизни населения. Также, выбор указанных услуг обусловлен их ключевой ролью в поддержании экологической устойчивости и прямой зависимостью от антропогенных и природных нарушений, интенсифицированных в условиях вооруженных конфликтов. Данный перечень подробно и всесторонне описывает регулирующие экосистемные услуги речных бассейнов, основываясь на большом объеме данных, лежащих в основе выделенных критериев. Выбор экосистемных услуг проведен с учетом функционального назначения территории.

Вышеперечисленные ключевые регулирующие экосистемные услуги имеют некоторое различие в методологических подходах и масштабе по сравнению с классификацией MEA [MEA, 2005], которая предлагает универсальную, глобальную таксономию услуг, сфокусированную на обобщенных типах экосистемных функций. В свою очередь, перечень ключевых услуг бассейнов рек является производным, применимым для конкретного объекта исследования – речного бассейна как целостной геосистемы. Это различие обуславливает специфику выделения регулирующих экосистемных услуг.

Конкретизация услуг для бассейнов рек, таких как обеспечение пресной водой и снижение риска наводнений, напрямую вытекает из ключевых функций речных бассейнов в регуляции гидрологического цикла и геоморфологических процессов. Бассейн представляет собой естественную единицу управления водными ресурсами, где все компоненты ландшафта (почвы, леса, биота) интегрированы через водные потоки. Следовательно, услуги формулируются не как абстрактные функции, а как конкретные, измеримые процессы, критически важные для устойчивости территории: способность лесного покрова перехватывать осадки и регулировать поверхностный сток, роль почв и растительности в инфильтрации и задержании влаги, что непосредственно влияет на пополнение грунтовых вод и минимизацию пиковых паводков.

Таким образом, разница между классификациями заключается не в сущностном противоречии, а в уровне детализации и прикладной направленности. Услуги бассейнов рек являются адаптацией общих принципов МЕА, применительно к уникальной роли речного бассейна как интегратора всех ландшафтных процессов.

В данном разделе были выделены ключевые регулирующие экосистемные услуги бассейнов рек, к которым относятся: регуляция лесного покрова, депонирование углерода, обеспечение пресной водой, снижение риска наводнений. Выявление и анализ регулирующих экосистемных услуг в речном бассейне представляет собой методологически обоснованный подход к обеспечению устойчивого управления водными ресурсами и поддержанию экологической стабильности.

Выводы по разделу 1

1. Концепция экосистемных услуг, сформировавшаяся в конце XX века, трактуется как совокупность материальных и нематериальных благ, извлекаемых человеком из функционирования экосистем, с акцентом на их роль в поддержании социально-экономического благополучия и экологической устойчивости. В разделе были систематизированы научные представления об экосистемных услугах, особое значение придается регулиującym экосистемным услугам, определенным в Стратегии сохранения биоразнообразия РФ как особо важных, так как они имеют фундаментальную роль в стабилизации экологических условий, что создает основу для предоставления всех прочих категорий экосистемных услуг и напрямую влияет на благосостояние человека.

2. Анализ классификационных подходов (МЕА, ТЕЕВ, CICES и др.) выявил методологические различия в акцентах: зарубежные системы ориентированы на выгоды для человека, тогда как отечественные подчеркивают функциональную целостность природных

систем и последствия их деградации. Это различие важно для постконфликтных ландшафтов, где антропогенное влияние вызывает изменения или утрату экосистемных услуг.

3. Впервые выявлены ключевые регулирующие экосистемные услуги бассейнов рек: регуляция лесного покрова, депонирование углерода, обеспечение пресной водой, снижение риска наводнений. Представленный перечень ключевых регулирующих экосистемных услуг обеспечивает комплексное отображение функционирования речных бассейнов, охватывая их ключевые экологические, гидрологические и биохимические процессы. Таким образом, установлен теоретико-методологический базис для последующего прикладного анализа, демонстрируя, что устойчивость постконфликтных территорий неразрывно связана с сохранением регулирующего потенциала их ландшафтов.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В БАССЕЙНАХ РЕК

Проведение анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек основано на комплексном подходе, включающем изучение ландшафтных, геоэкологических и гидрологических исследований. В методике исследования (рис. 2.1.) интегрированы географический и исторический анализ, которые позволяют проследить трансформацию речных бассейнов и предоставляемых ими регулирующих экосистемных услуг в контексте протекания вооруженного конфликта.

Исследование проводится в несколько взаимосвязанных этапов. Первый этап предполагает общий географический и исторический анализ территории (выделение границ водосбора, оценка его морфометрических параметров, анализ климатических изменений и динамики типов наземного покрова, описание почвенных характеристик, характеристика исторических этапов и т.д.) которые служат основой для понимания хронологических рамок и ключевых факторов, повлиявших на состояние природных систем и системы природопользования речных бассейнов.

Второй этап включает расчет индексов ключевых регулирующих экосистемных услуг и их пространственно-временной анализ. Исследование опирается на применение набора взаимодополняющих методик: Hansen Global Forest Change [Global Forest Change..., 2025], модель InVEST [InVEST..., 2013] и т.д. Ключевым компонентом методики является применение модели InVEST для оценки регулирующих экосистемных услуг, включая анализ динамики углеродного цикла (депонирование углерода) и гидрологического режима (обеспечение пресной водой, снижение риска наводнений). Интеграция данных дистанционного зондирования (Land Cover CCI) с полевыми исследованиями почвенного покрова и ландшафтов обеспечивает уточнение моделируемых параметров. Результирующий анализ экосистемных услуг базируется на сопоставлении биотических и абиотических показателей, что позволяет выявить ключевые зависимости между состоянием ландшафтов и их регуляторной емкостью, особенно актуальные для территорий, подвергшихся воздействиям вооруженных конфликтов.

На третьем этапе полученные данные обобщаются в рамках сравнительного анализа за три выделенных временных периода: доконфликтный (фоновое состояние ландшафтов), период активного вооруженного конфликта (как фаза максимального антропогенного воздействия и нарушения экосистемных услуг) и постконфликтный период (характеризующийся процессами

восстановления или дальнейшей деградации). Выявляются максимальные и минимальные изменения показателей экосистемных услуг в бассейнах рек.

Заключительный этап методики заключается в разработке научно обоснованных рекомендаций по устойчивому развитию исследуемой территории, направленных на восстановление и поддержание экосистемных услуг речных бассейнов для обеспечения долгосрочной экологической безопасности и социально-экономического благополучия регионов. Предложенная система анализа регулирующих экосистемных услуг интегрирует количественные показатели и пространственные закономерности (рис. 2.1).

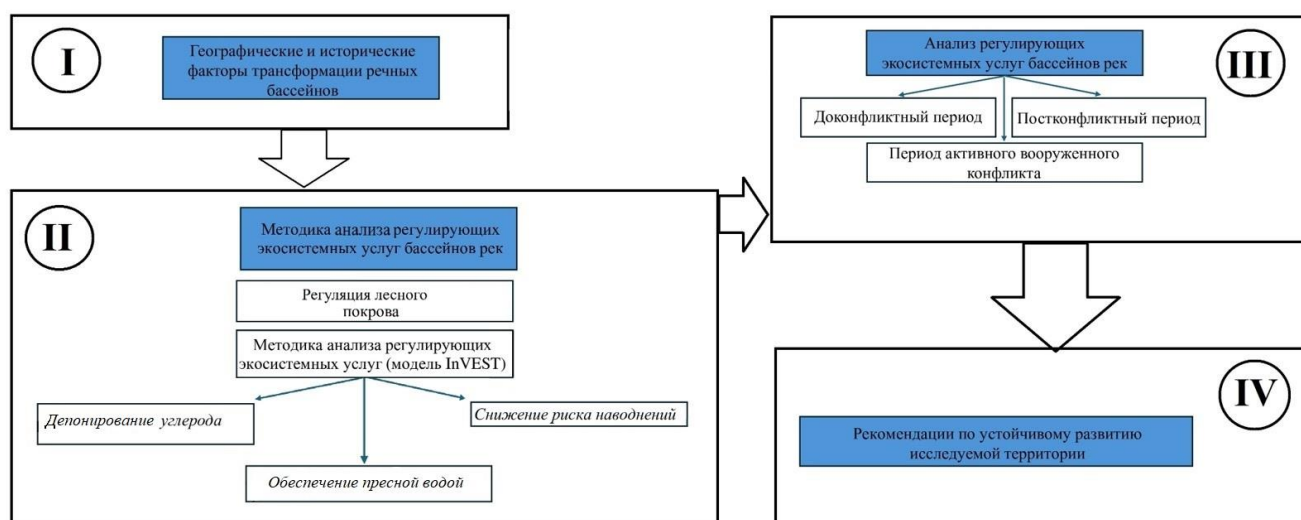


Рис. 2.1 – Методика проведения анализа экосистемных услуг в бассейнах рек

2.1. Методика анализа регуляции лесного покрова

Лес является источником ценного сырья, которое пользуются рыночным спросом [Зотеева, Касторнова, Фомина, 2023]. Лесные экосистемы также предоставляют ряд услуг, которые имеют решающее значение для человека, таких как снабжение, продовольствием и сырьем, сохранение почвы, регулирование климата и сохранение биоразнообразия [Global mapping of..., 2024]. Будучи основным компонентом наземных поглотителей углерода, леса становятся перспективным вариантом для природных решений для достижения цели Парижского климатического соглашения по удержанию глобального потепления ниже 2°C [Global mapping of..., 2024].

Потеря лесных площадей влияет на предоставление экосистемных услуг. Расширение сельскохозяйственных угодий, спрос на древесину, слабое обеспечение соблюдения экологических норм или незаконная вырубка леса являются одними из ключевых факторов

потери лесов. Эти факторы могут усиливаться в течении или после периодов социальной нестабильности, таких как вооруженные конфликты [Grima, Singh, 2019].

В бассейнах рек анализ регуляции лесного покрова как ключевой регулирующей экосистемной услуги был выполнен на основе данных Hansen Global Forest Change (версия 1.11, 2001–2023 гг.) [Global Forest Change], включающей обработанные временные серии спутниковых снимков Landsat (5, 7, 8, 9) с пространственным разрешением 30 м. Лесной покров идентифицировался как участки с высотой растительности от 5 м и проективным покрытием более 10% (слой *treecover2000*), а его потери (слой *lossyear*) определялись при полной замене древесной растительности на нелесные категории землепользования (вырубки, пожары). Данные, представленные бинарными масками (0/1) и годовыми слоями (1–23, за период соответственно 2001-2023 гг.). Методика количественной анализа потерь лесов включала суммирование пикселей со значением *lossyear* = X с последующей нормализацией по исходному покрытию (*treecover2000*), что позволило выявить пространственно-временные значения деградации в программном комплексе ArcGIS10, где выполнены пространственный анализ и визуализация результатов.

2.2. Методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг (модель InVEST)

Не существует единой классификации экосистемных услуг [Экосистемные услуги..., 2012] и единой методики их анализа. По мере того, как концепция экосистемных услуг получает все более широкое признание, увеличивается количество биофизических, социокультурных и финансовых методов, доступных для анализа экосистемных услуг, а также множится количество методов и инструментов, разработанных для анализа экосистемных услуг в конкретных ситуациях [A comparative assessment..., 2013]. Разнородность регулирующих экосистемных услуг требует интеграции методов, способных оценить как биотические, так и абиотические компоненты, а ввиду отсутствия единой классификации и стандартизированных подходов к анализу - применения комплексных методик. Нами была выбрана методика по [InVEST..., 2013], которая делает упор на оценку услуг, имеющих наибольшую значимость для территории исследуемых бассейнов рек и адаптированную под специфику регионов.

Модель InVEST® (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) [InVEST..., 2013] является важным инструментом для оценки экосистемных услуг и надёжной технической поддержкой для управления экосистемами [Wang, Meng]. В сочетании с ArcGIS модель известна для визуализации пространственных изменений функций экосистемных услуг [Yao, Weiping, Hui, 2015]. InVEST представляет собой открытый программный комплекс для

пространственного моделирования и количественной оценки экосистемных услуг, обеспечивающих жизнедеятельность человечества, включая производственные (продовольственные ресурсы), регулирующие (очистка воды), культурные (рекреационный потенциал) и поддерживающие (сохранение биоразнообразия) функции [InVEST..., 2013]. Модульная архитектура InVEST позволяет проводить многомасштабный анализ (от локального до глобального уровня) на основе производственных функций, связывающих изменения в структуре экосистем (например, буферную роль мангровых зарослей) с антропогенными факторами (распределение уязвимой инфраструктуры), представляя результаты в биофизических (объем с депонирования углерода) показателях [InVEST..., 2013]

Модель InVEST апробирована во многих исследованиях. Например, Young Choi Ji [Young, Don, 2017] применил модель InVEST для оценки секвестрации углерода в Южной Корее в период с 1980 по 2000 год. Аналогичным образом, Leh et al. [Quantifying and mapping..., 2013] использовали компоненты модели InVEST для оценки экосистемных услуг в Гане и Кот-д'Ивуаре, поддерживая планирование местного управления земельными ресурсами. Экосистемные услуги бассейна Уилламетт в Орегоне и бассейна Амазонки были оценены с помощью моделей InVEST в рамках исследования [Tallis, Polasky, 2009]. Определение пригодности среды обитания, а также анализ изменения качества среды обитания с 1988 по 2018 год и изучение корреляции между факторами воздействия и качеством среды обитания было проведено в бассейне Омо-Гибе в юго-западной Эфиопии [The InVEST Habitat..., 2020]. Shifaw et al. [Ecosystem services dynamics, 2024] обнаружили, что такие факторы, как изменение климата и социально-экономические условия, вызвали динамические сдвиги в компромиссах и синергии экосистемных услуг с течением времени и в разных регионах, особенно в небольших областях [Ecosystem services dynamics..., 2024].

С точки зрения ключевых регулирующих экосистемных услуг с помощью модели InVEST для исследуемых бассейнов рек будут анализироваться следующие ключевые регулирующие экосистемные услуги:

- депонирование углерода;
- обеспечение пресной водой;
- снижение риска наводнений.

Для анализа и выявления динамики регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек с помощью модели InVEST использованы различные наборы данные, перечисленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Анализируемые параметры регулирующих экосистемных услуг в модели InVEST

Экосистемная услуга (модель InVEST)	Параметры, необходимые для анализа экосистемной услуги
Депонирование углерода	Land Cover, Углеродные пулы (надземная биомасса, подземная биомасса, почва и мертвое органическое вещество)
Обеспечение пресной водой	Land Cover. Осадки, Эталонное суммарное испарение, Глубина слоя, Доступное для растений содержание воды, Биофизическая таблица, Параметр Z, Водоразделы.
Снижение риска наводнений	Land Cover. Глубина выпадения осадков (количество) (мм), Биофизическая таблица (csv), Гидрологическая группа почв.

Использование модели InVEST для анализа динамики регулирующих экосистемных услуг обеспечивает количественную основу разработки мер по восстановлению экосистем. Это особенно значимо для трансграничных бассейнов, где экологические последствия конфликтов имеют кумулятивный характер, а управление ресурсами требует междисциплинарного подхода.

Для анализа динамики регулирующих экосистемных услуг в модуле InVEST, а также для выявления параметров, представленных в таблице 2.1., необходимо выделить границы бассейна реки, проанализировать данные по эрозии в бассейне реки, почвенные показатели, климатические данные (температура и количество атмосферных осадков), а также динамику типов наземного покрова.

Выделение речных границ бассейнов рек. Речные бассейны являются целостными географическими образованиями с четкими границами. Разграничение водосбора неразрывно связано с бассейновым подходом, применяемым в географических и экологических исследованиях, и основано на идее непрерывности географической оболочки, где поток воды выступает в качестве основного интегрирующего фактора [Табунщик, 2024].

Пространственные модели ГИС данных [What is ModelBuilder..., 2025] автоматизируют рабочие процессы, связывая задачи и процессы воедино, а также позволяют выполнять рабочий процесс, изменять его и повторять его несколько раз, упрощая управление рабочим процессом и повышая эффективность геообработки [Delineation and Morphometric..., 2025].

В программном комплексе ArcGIS анализ пространственных моделей реализуется через приложение ModelBuilder ArcGIS, которое используется для создания, редактирования и управления моделями. В приложении отображаются рабочие процессы, которые соединены друг с другом в последовательности инструментов геообработки, передавая выходные данные

одного инструмента в другой инструмент в качестве входных данных [What is ModelBuilder..., 2025].

Например, Schaller J. и Mattos C. [Schaller, Mattos, 2010] использовали ModelBuilder ArcGIS для целей планирования и оценки развития региона Мюнхен (Германия); Nassar E. с соавторами [Development of a..., 2024] – для разработки модели анализа пригодности земель для переселения из трущоб в Каире (Египет); Zhu Z. [Zhu, 2010] – для разработки модели оценки риска возникновения оползней, вызванных землетрясением; A. Omran с соавторами [GIS-based rockfall..., 2021] – для моделирования зон опасности камнепадов вдоль побережья залива Акаба (Египет) и пр. Не является исключением и использование ModelBuilder ArcGIS в гидрологических исследованиях. Например, A. Khalili с соавторами [Creating Urban Flood..., 2021] использовали ModelBuilder ArcGIS для анализа уязвимости городов от проявления наводнений; Kum D. H. с соавторами [Development of automatic, 2011] и P. Csáfordi с соавторами [Csáfordi, Pödör, Bug, 2012] – для оценки развития и моделирования процессов эрозии в речных бассейнах; S. Khan с соавторами [Khan, Fryirs, Shumack, 2021] – для определения геоморфологических характеристик речных бассейнов; A. A. F. Beg [Beg, 2015], N. S. Magesh с соавторами [Magesh, Chandrasekar, Kalira, 2012] – для определения морфометрических характеристик речных бассейнов; Ismaeel O. A. et al. [Ismaeel, Yahya, Ahmed, 2022], C. Kraemer and S. S. Panda [Kraemer, Panda, 2009] – для определения границ речных бассейнов и выделения водоразделов [Delineation and Morphometric..., 2025].

Модель, созданная с использованием ModelBuilder ArcGIS, позволила выделить растровые и векторные границы водосборного бассейна и сети водотоков, на основании загруженной Цифровой модели рельефа (ЦМР). Методика строится на использовании программного комплекса ArcGIS и цифровой модели рельефа и представляет собой алгоритм, состоящий из последовательного выполнения шагов с использованием группы инструментов «Гидрология» («Hydrology») набора инструментов «Spatial Analyst».

На начальном этапе ЦМР загружается в программное обеспечение ArcGIS. Затем, с использованием инструмента «Заполнение» («Fill») из группы инструментов «Гидрология» («Hydrology») в наборе инструментов «Spatial Analyst», выполняется устранение некорректных понижений в цифровой модели рельефа. После этого применяется инструмент «Направление стока» («Flow Direction») из той же группы инструментов «Гидрология» для определения направлений стока для каждого пикселя обработанной модели. Далее, инструментом «Суммарный сток» («Flow Accumulation») вычисляется суммарный сток, который представляет собой совокупный вес всех пикселей, стекающих к каждому пикселю вниз по склону выходного растра. В качестве входного растра используется растр направления стока, созданный на предыдущем этапе.

На следующем этапе, инструмент «Установить Null» («Set Null») из группы «Условия» («Conditional») набора инструментов «Spatial Analyst» позволяет отобрать пиксели с суммарным стоком, превышающим значение 150, создавая новый растр, содержащий только такие пиксели. Далее инструмент «Порядок водотоков» («Stream Order») присваивает порядковый номер каждому звену эрозионной сети на основе нового растра, созданного ранее [Delineation and Morphometric..., 2025].

Векторизация водотоков осуществляется с помощью инструмента «Водоток в пространственный объект» («Stream to Feature»), который преобразует растр водотоков в линейный векторный формат. На основании растра направления стока инструмент «Бассейн» («Basin») создаёт растр бассейнов рек, определяя границы водосборных бассейнов. Затем с использованием инструмента «Растр в полигоны» («Raster to Polygon») из группы инструментов «Конвертация» («Conversion») растр бассейнов преобразуется в полигональный шейп-файл, содержащий информацию о границах водосборных бассейнов.

Первый этап работы включает обработку ЦМР, заполнение понижений, на основании которой определяется направление стока воды (flow direction) и накопление потока (flow accumulation). Эти данные позволяют выявить ключевые элементы речной системы, такие как русла рек, их начало и точки соединения. Затем, с использованием инструментов гидрологического анализа, создаются границы водосборных бассейнов рек. После получения результирующих данных, выполнялась ручная и полуавтоматическая проверка на поиск ошибок выделения границ водосборных бассейнов и сети водотоков.

Эрозия и потенциальные потери почв. В рамках исследования проведен комплексный анализ эрозии почв с применением модели RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), интегрированной с ГИС-технологиями и данными дистанционного зондирования.

Модель RUSLE является инструментом для оценки эрозионных потерь почвы, интегрирующая комплекс факторов, воздействующих на эрозионные процессы, а также предоставляет возможность прогнозирования уровня потерь почвы. Модель интегрируется с ГИС и данными дистанционного зондирования и описывается формулой:

$$A=R*K*LS*C*P \quad (2.1)$$

где A – среднегодовой смыв почвы (т/га*год), R – коэффициент эрозионной активности осадков (МДж*мм/га*ч*год), K – коэффициент эрозионной активности (т*ч/МДж*мм), LS – топографический фактор или фактор длинны и крутизны склонов (безразмерный), C – фактор управления растениеводством (безразмерный), а P – фактор природоохранной практики (безразмерный) [Табунщик, Горбунов, 2025].

Каждый компонент уравнения характеризует определенный фактор, подлежащий расчету согласно соответствующей методике. R-фактор, в частности, отражает воздействие осадков на эрозию, определяемое как функция от их количества и интенсивности. Величина R-фактора детерминируется гидрологическими параметрами местности, включая суммарный объем осадков, интенсивность выпадения и градиент поверхности.

$$R = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i^2}{P_t} \right) \quad (2.2)$$

где P_i – месячное количество осадков, а P_t – годовое количество осадков, выраженное в миллиметрах (мм).

K-фактор анализирует склонность почвы к эрозии, определяемую ее физико-химическими свойствами, включая гранулометрический состав (содержание глинистых и супесчаных фракций), содержание органического вещества и иные релевантные параметры. Величина K-фактора проявляет значительную изменчивость в зависимости от типа почвенного покрова. Расчет K-фактора осуществляется на основе данных, предоставляемых SoilGrids [Табунщик, 2024].

LS-фактор включает анализ длины склона (L) и крутизны склона (S), которые являются двумя важными факторами, влияющими на эрозию почвы. LS-фактор оценивается в ГИС с использованием ЦМР:

$$LS = (1.4) \times \left(\frac{Flowacc}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (2.3)$$

где Flowacc – суммарный сток; θ – наклон поверхности в градусах.

C-фактор отражает воздействие почвенно-растительного покрова и методов землепользования на интенсивность эрозионных процессов. Наличие растительности и применение эффективных практик управления почвой способствует снижению эрозионной активности. Величина C-фактора зависит от типа почвенного покрова, применяемых методов управления почвой и видового состава растительности. Оценка C-фактора осуществляется на основе значений вегетационного индекса NDVI, с применением следующего математического аппарата:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2.4)$$

$$C = \left(\frac{-NDVI+1}{2} \right) \quad (2.5)$$

где NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED - отражение в красной области спектра [Табунщик, Петлюкова, 2018].

Модель RUSLE обеспечивает возможность количественной оценки уровня эрозии почвы на локальном участке. Посредством анализа вышеупомянутых факторов и использования соответствующих геопространственных данных возможно прогнозирование и сравнительный анализ эрозионных потерь на различных территориях. Таким образом, RUSLE является эффективным инструментом мониторинга и оценки потенциальных рисков эрозии, способствуя устойчивому землепользованию и сохранению качества почвенного покрова [Табунщик, Горбунов, 2025].

Анализа показателей почвы. Почва является основой наземных экосистем и большинства экосистемных услуг [Baer, Birgé, 2018]. Качество почвы является важнейшим природным маркером для функционирования экосистем, поддержания экологического биоразнообразия и здоровья растений и животных [Andrews, Karlen, Mitchell, 1997; Delelegn et al., 2017]. Стоит отметить, что качество почвы ухудшается, когда естественные ландшафты преобразуются в ландшафты и экосистемы, управляемые человеком [Effects of land... 2023; Tabunshchik, Gorbunov, Gorbunova, 2022]. Показатели экосистемных услуг и связанные с ними единицы учета имеют решающее значение для разработки рамок принятия решений для систем устойчивого управления земельными ресурсами [Dominati, Patterson, Mackay, 2010; A method to..., 2012; Assessing the impact..., 2025].

Данные по почвам бассейна реки Эль-Аси (Оронт) были получены из литературных источников [Habib, L. Waad, 2007; Urban Soil Pollution..., 2019; Khallouf, 2020; Ghanem, 2020; Khallouf, Talukdar, Harsányi, 2021; Табунщик, Никифорова, 2023; A baseline survey..., 2023; Soil Organic Carbon..., 2024], включая данные Международной классификации почв, разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) ООН [FAO, 2025]. Характеристики почв бассейна реки Сунжи определены в ходе полевых экспедиционных исследований (август - сентябрь 2024 года) в рамках проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки». В период работы экспедиции было описано 44 фации (рис.2.2), расположенных по всему бассейну.



Рис. 2.2 – Проведение полевых и камеральных работ (август - сентябрь 2024 года) в рамках проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки», Республика Чечня.

На каждой точке был заложен почвенный профиль, а также отобраны образцы почвы из каждого почвенного горизонта и проведено их описание (рис.2.3).



Рис. 2.3 – Отбор и анализ почвенных проб (август - сентябрь 2024 года) в рамках проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки», Республика Чечня.

Исследование почв включает анализ по модели расчета предельной мощности гумусового горизонта [Ергина, Горбунов, Щербина, 2018], так как анализ регулирующих экосистемных услуг, таких как депонирование органического углерода и поддержание почвенного плодородия, осуществляется через оценку степени реализации почвой своей потенциальной вместимости к аккумуляции гумуса.

Первоначальным этапом методики является расчет энергетических затрат на почвообразование (Q , МДж/м²·год) по модернизированной формуле, интегрирующей радиационный баланс (R , ккал/(см²·год)) и годовую сумму осадков (P , мм):

$$Q = 41,868 [R \times e^{-18,8 \frac{R \times 0,73}{P}}] \quad (2.6.)$$

Данный показатель отражает количество энергии, затрачиваемой на педогенез в конкретных климатических условиях. Эти данные были получены с платформы ERA5 [ERA5 Land – ClimateEngine.org..., 2025] (см. 2.4.).

Следующим шагом является введение поправочного коэффициента (g), учитывающего влияние гранулометрического состава на потенциал почвы к гумусонакоплению. Коэффициент рассчитывается по уравнению:

$$g = -0,0002 \times f_g^2 + 0,018 \times f_g + 0,613 \quad (2.7.)$$

где f_g – содержание физической глины (%).

Это позволяет нивелировать вариабельность, связанную с различиями в гранулометрии, и привести оценку к условиям среднесуглинистой почвы.

На основе расчетных величин Q и g , а также с учетом литогенной основы определяется предельная (климаксовая) мощность гумусового горизонта ($H_{r(пр)}$). Для почв, сформированных на рыхлых почвообразующих породах, применяется модель:

$$H_{r(пр)} = g \times (442,1 \times \ln Q - 2232,4) \quad (2.8.)$$

Для почв на элювии и делювии плотных пород:

$$H_{r(пр)} = g \times (393,4 \times \ln Q - 1905,1) \quad (2.9.)$$

Данные уравнения, полученные эмпирическим путем как огибающие кривые для набора точек наблюдений, описывают теоретический предел мощности гумусового горизонта, достижимый в условиях равновесия между почвообразующими факторами.

Ключевым элементом методики является сравнительный анализ рассчитанной предельной мощности ($H_{r(pp)}$) и фактически наблюдаемой мощности гумусового горизонта, исходя из литературных источников и экспедиционных данных. Таким образом, модель предельной мощности служит не только теоретическим индикатором потенциального плодородия, но и практическим инструментом для оценки антропогенного пресса на почвенные ресурсы и управления экосистемными услугами.

Анализ климата. Для исследования климатических особенностей территории бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа за многолетний период использовались данные температуры воздуха на высоте 2 м и количества атмосферных осадков из реанализов ERA5 [ERA5 Land – ClimateEngine.org..., 2025] и CHIRPS [Climate Hazards Center..., 2025].

В реанализе ERA5 использовались данные из диапазонов `temperature_2m` (измерение температуры воздуха в Кельвинах) и `total_precipitation_sum` (измерение количества атмосферных осадков в метрах). Пространственное разрешение данных – $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ градус. Первичные ряды данных переводились в размерные значения $^{\circ}\text{C}$ для температуры (`temperature_2m`) и мм для атмосферных осадков (`total_precipitation_sum`) с помощью инструмента Map Algebra в геоинформационной системе ArcGIS 10.5.

Данные о количестве атмосферных осадков взяты из базы данных реанализа CHIRPS. Пространственное разрешение данных – $0,05^{\circ} \times 0,05^{\circ}$ [Погода и климат..., 2025]. Единицами измерения количества атмосферных осадков являются метры. Это глубина, которую имела бы вода, если бы она равномерно распределялась по сетке (т.е. в конкретной ячейке, равной $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ градус) [ERA5 Land – ClimateEngine.org..., 2025].

Температура воздуха на уровне 2 метра рассчитывается путем интерполяции между самым низким уровнем модели и поверхностью Земли с учетом атмосферных условий.

Для анализа возможности использования данных реанализов, были рассчитаны проверочные коэффициенты корреляции и детерминации между показателями метеорологических станций Кавказа и данными реанализа ERA5 за период с 1991 по 2024 годы [ERA5 Land – ClimateEngine.org..., 2025].

Результаты проверки показывают, что коэффициент корреляции Пирсона для температуры равен 0,98, что указывает на очень высокую корреляционную связь по шкале Чеддока. Для осадков коэффициент корреляции составляет 0,87, что также свидетельствует о высокой корреляционной связи между данными метеостанций и реанализа ERA5.

Динамика типов наземного покрова. Изменения наземного покрова (LULC) влияют на способность экосистем предоставлять услуги природного капитала [Burkhard, Kroll, 2012]. Исходя из определения ФАО, наземный покров (landcover) – это наблюдаемый биофизический покров на земной поверхности, состоящий из растительности и антропогенных объектов [Global Land..., 2000; Uncovering Anthropogenic..., 2025].

Данные о наземном покрове получены методами дистанционного зондирования из операционной системы обработки Европейского космического агентства (ESA) и Copernicus Climate Change Service [CCI Land Cover..., 2025; Land cover..., 2025]. Алгоритмы кросс-калибровки устраняют различия в сенсорных характеристиках, обеспечивая сопоставимость данных за 29-летний период (1992–2020 гг.). Мультиспутниковая стратегия CCI-LC трансформировала разрозненные данные в согласованный временной ряд, что позволило количественно оценить динамику земного покрова в контексте изменения климата и антропогенных воздействий.

Данные о типах наземного покрова были загружены с официального сайта, произведена их обрезка в ГИС по границам бассейнов рассматриваемых рек. Для каждого года было посчитано количество пикселей изображения занимаемого тем или иным классом наземного покрова.

2.2.1. Депонирование углерода

Углеродная тематика стала одной из ключевых научных и научно-прикладных направлений исследований в последние годы [Комплексный подход к..., 2021]. Наземные экосистемы хранят больше углерода, чем атмосфера, и предоставляют экосистемные услуги, такие как регулирование глобального климата, путем связывания углерода в биомассе и почве [Modelling the potential, 2019].

Наземное улавливание и хранение углерода является наиболее широко признанной из всех системных услуг (Yen, 2013). Исследования подчеркивают роль почвы как важного источника углерода в глобальном углеродном цикле и ее потенциальное воздействие на изменение климата [Tardieu, Roussel, Salles, 2013; Modelling the potential, 2012].

Для территории исследуемых бассейнов рек проведен расчет запасов углерода с помощью инструментов программы ArcGIS 10.2, программы MS Excel и модели Carbon Storage and Sequestration программного обеспечения InVEST [InVEST..., 2013]. Для использования этой модели использованы следующие входные данные:

- слой типов наземного покрова и землепользования (LULC);
- слой запаса органического углерода в почве;

- слой запасов углерода в надземной живой биомассе;
- слой запасов углерода в подземной живой биомассе;
- слой запасов углерода в отмершей биомассе.

Характеристики входных слоев для общего расчета запасов углерода представлены в таблице 1.

Таблица 2.2 – Характеристики входных слоев для расчета запасов углерода [Drygval, Drygval, Tabunshchik, 2025]

Слой типов наземного покрова и землепользования			
Источник	Территориальное покрытие (разрешение)	Временное покрытие	Типы
SENTINEL-2 10M LAND USE/LAND COVER [SENTINEL-2 10M]	10м*10м	2017-2023 гг.	Водные объекты, деревья, затопленная растительность, сельскохозяйственные культуры, застроенная территория, оголенные участки земли, снег/лед, облака
Слой запаса органического углерода в почве			
Источник	Территориальное покрытие (разрешение)	Мощность	Единица измерения
SoilGrids250 [SOIL GRIDS]	250м*250м	0-30 см	т/га
Слой запаса органического углерода в надземной и подземной живой биомассе			
Источник	Территориальное покрытие (разрешение)	Масштаб	Единица измерения
Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010 [Global Aboveground and]	300м*300м	x10	т/га

Все слои загружаются и обрабатываются в модуле InVEST, получая единый файл формата «TIF», содержащий данные о количестве углерода на территории. Далее файл анализируется в программе ArcGIS.

2.2.2. Обеспечение пресной водой

Моделирование водообеспеченности, связанной с изменением землепользования/покрова (LUC) и климатическими факторами, имеет важное значение для управления водными ресурсами ландшафта [The InVEST Habitat, 2020]. Методика расчета модуля обеспечения пресной водой в рамках платформы InVEST [Evaluating InVEST model..., 2022; Annual water yield2019; InVEST] основана на моделировании водного баланса, интегрирующего климатические, почвенные, топографические и биотические параметры для оценки годового объема стока на уровне пикселя. Основой алгоритма служит уравнение, связывающее осадки (P), фактическую эвапотранспирацию (AET) и сток (Y):

$$Y=P-AET \quad (2.10)$$

Где AET определяется по методу Будыко-Федерара с учетом коэффициента растительного покрова (K_c), отражающего способность конкретного типа землепользования регулировать испарение. Значение K_c корректируется в зависимости от доступной влаги в почве, рассчитываемой через гидравлическую проводимость (K_{sat}), глубину корневой зоны (Z_{root}) и сезонное распределение осадков.

Входные данные включают:

- Растровые слои землепользования, почвенных характеристик (K_{sat} , Z_{root}) и цифровую модель рельефа (DEM);
- Климатические параметры (годовые осадки, потенциальная эвапотранспирация) в формате ASCII или GeoTIF;
- Таблицы с коэффициентами K_c для каждого класса LULC, верифицируемые через полевые исследования или литературные источники.

Модель учитывает пространственную неоднородность инфильтрации и перераспределение стока за счет топографического индекса влажности, что позволяет прогнозировать влияние изменения растительного покрова (например, вырубки лесов или урбанизации) на водный режим. Далее, все слои загружаются и обрабатываются в модуле InVEST, получая единый файл формата «TIF», содержащий данные о стоке на территории. Далее файл анализируется в программе ArcGIS.

2.2.3. Снижение риска наводнений

Методика расчета показателя снижения риска наводнений в InVEST базируется на оценке роли природной инфраструктуры в минимизации стока и смягчении последствий паводков. Модель интегрирует гидрологические и экономические параметры, фокусируясь на трех ключевых механизмах: сокращении объема поверхностного стока за счет инфильтрации, замедлении скорости потоков через естественные барьеры (например, зеленые зоны или водно-болотные угодья) и создании буферных пространств для аккумуляции воды [Bose, Mazumdar, 2024; InVEST..., 2025; Improving urban flood..., 2025].

Алгоритм включает: расчет сокращения стока на уровне пикселя, где определяется разница между объемом осадков и удержанным стоком, зависящим от типа землепользования (LULC), гидравлической проводимости почв.

Входные данные включают:

- Растровые слои LULC и цифровую модель рельефа (DEM);
- Параметры осадков, инфильтрации и кривые продолжительности стока;

Далее, все слои загружаются и обрабатываются в модели InVEST, получая единый файл формата «TIF», содержащий все данные о снижении риска наводнений. Результаты визуализируются в виде карт риска затопления в программе ArcGIS.

Выводы по разделу 2

1. Разработанная методика комплексного анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа представляет собой интегративный подход, сочетающий современные ГИС-технологии, данные дистанционного зондирования и полевые исследования. Методологическая основа включает четыре этапа: физико-географический и исторический анализ бассейна реки, на основе которого проведен анализ регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек, анализ через призму временных периодов и финальный этап – создание рекомендаций по увеличению емкости экосистемных услуг.

2. В бассейнах рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа анализ регуляции лесного покрова как ключевой регулирующей экосистемной услуги был выполнен на основе данных Hansen Global Forest Change. Результаты обработаны в GIS-средах (Earth Engine, QGIS) и визуализированы в ArcGIS 10. Методика анализа регулирующих экосистемных услуг основана на модели InVEST, предназначенная для анализа вклада экосистем в предоставление ключевых услуг, таких как депонирование углерода, обеспечение пресной водой, а также снижение риска наводнений.

Модель InVEST позволяет интегрировать данные о состоянии экосистем, климатических условиях и антропогенной нагрузке для прогнозирования изменений в предоставлении экосистемных услуг. В контексте депонирования углерода методика включает анализ биомассы растительности и почвенного покрова, что способствует оценке потенциала экосистем в связывании углекислого газа и смягчении последствий изменения климата. Обеспечение пресной водой оценивается через способность основных типов наземного покрова, влиять на инфильтрацию воды, испарение и сток. Снижение риска наводнений анализируется с учётом роли экосистем (типов наземного покрова) в замедлении поверхностного стока и уменьшении пиковых расходов воды во время экстремальных осадков. Методика включает моделирование гидрологических процессов и оценку вклада природных территорий в минимизацию потенциального ущерба.

РАЗДЕЛ 3. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНОВ РЕК ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) И СУНЖИ

3.1. Физико-географические особенности территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт)

3.1.1. Географическое положение

Область исследования охватывает бассейн реки Эль-Аси, также известной как Оронт. В литературе применяется оба названия, в Сирии чаще используется Эль-Аси, у других стран – Оронт [Orontes River Basin ..., 2013; Atlas of the..., 2022; Shaban, 2021]. В рамках исследования выделены границы бассейна реки Эль-Аси (Оронт), основываясь на использовании геоинформационного моделирования. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) представлен на рисунке (рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Границы бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Бассейн реки расположен в Западной Азии (рис. 3.2), в восточной части водосборного бассейна Средиземного моря, между 34-37 параллелью северной широты, в районе 36-37

меридиана восточной долготы. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) является одним из наименее изученных трансграничных водных объектов на Ближнем Востоке [Рысбеков, Рысбеков, 2015].

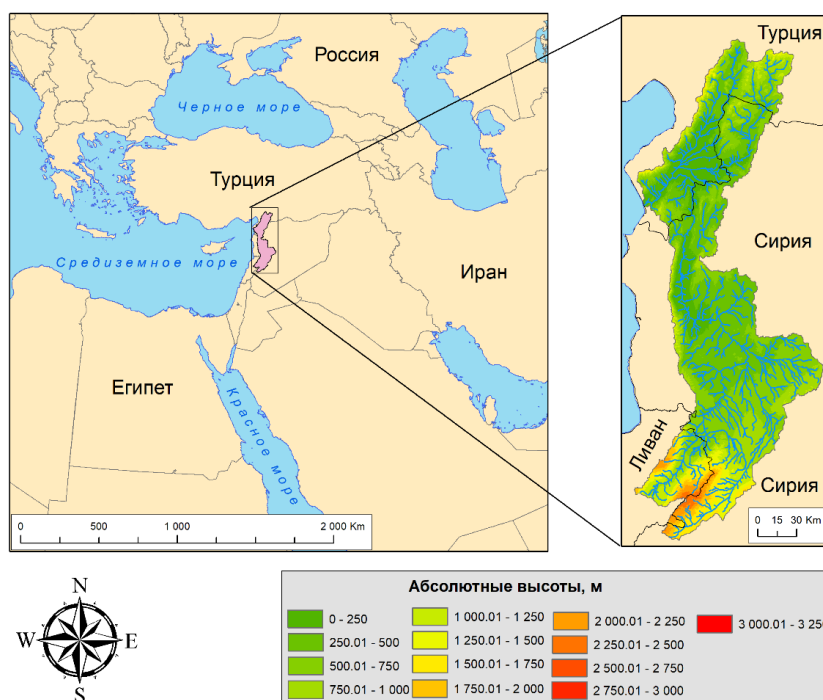


Рис. 3.2 – Географическое положение и абсолютные высоты в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) [Динамика типов наземного..., 2023].

Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) охватывает территории нескольких стран Ближнего Востока: Ливан, Сирию и Турцию (рис.3.3). Бассейн отличается сложной гидрографической и административно-территориальной структурой. В Ливане река протекает через мухафазы (провинции) Баальбек – Эль-Хирмил, Кесерван – Джебейль и Аккар, где расположены такие населенные пункты, как Баальбек и Джебейль, имеющие значительное историческое и культурное значение. В Сирии бассейн охватывает мухафазы Алеппо, Идлиб, Латакия, Риф-Дамаск, Тартус, Хама и Хомс. Крупнейшими городами здесь являются Алеппо, Хама и Хомс, играющие ключевую роль в социально-экономическом развитии региона. В Турции река затрагивает провинции Кахраманмараш, Газиантеп, Килис, Османие и Хатай, где расположены такие крупные города, как Кахраманмараш и Антакья (административный центр Хатая).

Река берёт начало в горах Антиливана, примерно в 30 км к востоку от Бейрута [Динамика типов наземного ..., 2023]. Истоком являются воды карстовых источников, расположенные на высоте 690 м [Orontes River Basin..., 2013].

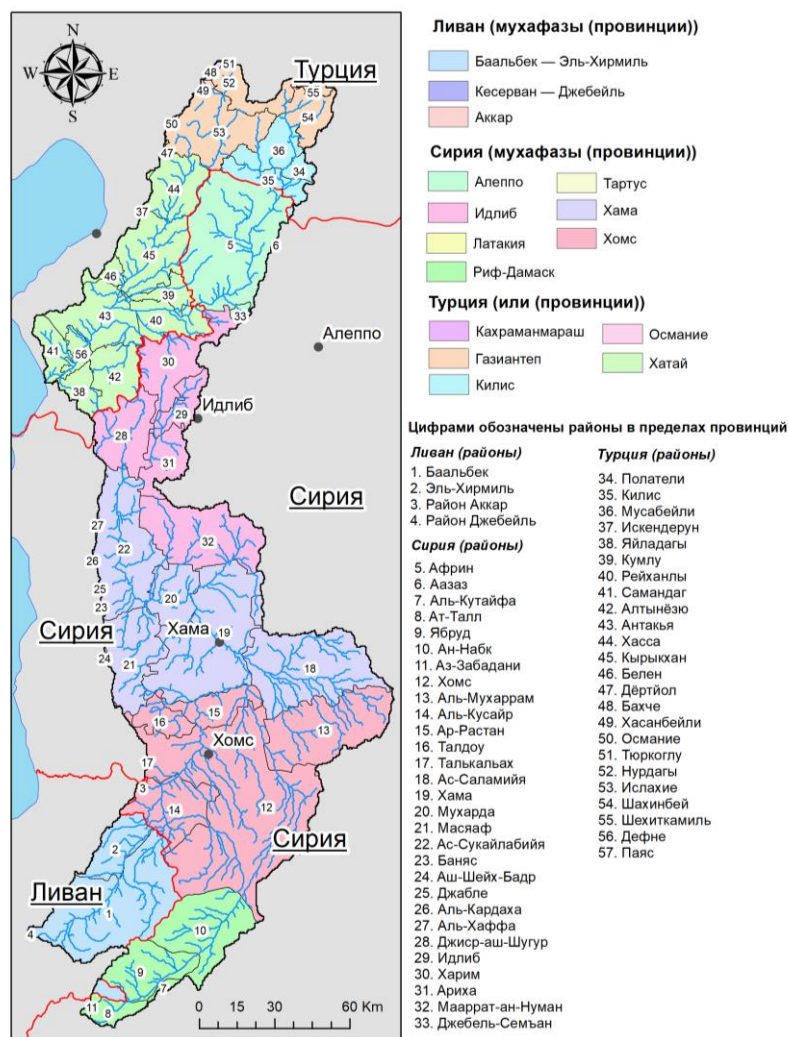


Рис. 3.3 – Административно-территориальное деление бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Направление течения – с юга на север, параллельно побережью Средиземного моря. В верхнем течении река протекает по скалистому ущелью, затем разливается в озеро Хомс, которое было запружено ещё в античные времена. Далее долина реки расширяется у города Хама, после чего русло поворачивает на запад по равнине Амуку. Здесь в Эль-Аси (Оронт) впадают два крупных притока – Аффин и Карасу. Впадает река в залив Антакья Средиземного моря к югу от турецкого портового города Самандаг. В Сирии небольшие ручьи и родники, берущие начало в Прибрежных горах на западе и в горах Завия на востоке, вносят свой вклад в сток реки Эль-Аси (Оронт) [Реки Ближнего Востока..., 2015]. Питание реки Эль-Аси (Оронт) происходит за счет грунтовых вод (доля в стоке реки составляет до 90% [Orontes River Basin..., 2013]), а также, в зависимости от сезона года, появляется снеговое или дождевое [Traboulsi, 2004].

Наиболее густонаселенные и экономически развитые районы сосредоточены вокруг крупных городов, таких как Алеппо, Хама и Хомс в Сирии, а также Антакья в Турции (рис 3.3). Эти города являются важными транспортными, торговыми и культурными узлами, что подчеркивает стратегическое значение бассейна реки для всего региона. Гидрологическая система бассейна отличается сезонными колебаниями водности, что оказывает влияние на сельское хозяйство и водоснабжение населенных пунктов.

В настоящее время использование реки Эль-Аси (Оронт) в Ливане ограничивается сельским хозяйством, рыбоводческими хозяйствами и туризмом. В бассейне реки на территории Сирии для орошения интенсивно эксплуатируются как подземные, так и поверхностные воды. В Турции в последние годы запланировано и реализовано несколько десятков новых проектов по развитию водных ресурсов в турецкой части бассейна реки Эль-Аси (Оронт). Эти проекты направлены на регулирование стока реки и её притоков для ирригации и защиты от наводнений. Они также направлены на обеспечение водой бытовых нужд и для выработки электроэнергии [Orontes River Basin..., 2013; Jomaa, Massaad].

3.1.2. Геологическое строение и рельеф

Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) сформирован в результате тектонических процессов, связанных с Сирийским рифтом – частью трансформного разлома, входящего в рифтовую систему Красного моря, которая протягивается от залива Акаба до хребта Аманус [Weulersse 1946]. Ее русло, как и у рек Литани и Иордан, следует вдоль этой крупной тектонической оси, проходя от истоков в долине Бекаа через впадину Эль-Габ до депрессии Амук в провинции Хатай, где река впадает в Средиземное море южнее Антакьи. Продольный профиль реки Эль-Аси (Оронт) отражает сложную геоморфологическую структуру, включающую протяженные участки аллювиальных равнин и возвышенностей, расчлененных рекой и разделенных резкими перепадами высот, выраженными скалистыми порогами [Weulersse 1946; Orontes River Basin..., 2013].

Верхнее течение реки, расположенное выше карстового источника Айн-эз-Зарка (650 м над уровнем моря), имеет черты временного водотока (вади) с нечетко выраженным тальвегом. Исток Эль-Аси (Оронт) находится в районе Хермеля, где из карстовых источников, включая Айн-эз-Зарка, формируется постоянный поток. Пробиваясь через засушливое плато, река течет по узкой, но хорошо обводненной долине, достигая первого значительного понижения рельефа на отметке ~500 м, где горные хребты Ливана сменяются ущельем Хомс и равниной Телль-ан-Наби-Минду. Далее базальтовые покровы, доминирующие в районе ущелья Хомс и Джебель-эль-Халв, отклоняют русло на северо-восток. При выходе на равнину река глубоко врежется в

базальтовое плато Хомс, формируя крутой склон, сохраняющийся вплоть до Ар-Растана, где долина расширяется в условиях сенонских меловых отложений [Atlas of the..., 2022].

Базальтовый массив Джабаль-эль-Ала вновь изменяет направление течения, ориентируя его на северо-запад, к Хаме. В районе Аль-Латамины река резко снижает градиент из-за тектонического опускания по разлому Аль-Габ, прорезая сеноманские известняки вплоть до Шайзара, где начинается крупнейшая ступень рельефа. Ниже Шайзара и Каркура простирается обширная аллювиальная равнина Аль-Габ, исторически заболоченная и соответствующая рифтовой долине. Базальтовый порог в Каркуре ограничивает этот участок, после чего Эль-Аси (Оронт) спускается к равнине Амук, пересекая ее до Антакьи, где последний тектонический уступ приводит к его впадению в Средиземное море [Перспективы нефтегазоносности..., 2025].

В литературе нет устоявшихся данных о площади водосборного бассейна реки Эль-Аси (Оронт). Площадь водосборного бассейна реки Эль-Аси (Оронт) и её приуроченность к различным странам (в процентах) разными исследователями рассчитывается по-разному. Для площади водосборного бассейна реки Эль-Аси (Оронт) указываются следующие значения: 21 660 км² [Kloosterman, Vermooten, 2008], 24 660 км² [Irrigation in the..., 2009], 26 530 км² [Orontes River Basin..., 2013]; при этом 2016 км² приходится на Ливан (8 %) [Orontes River Basin..., 2013; Kloosterman, Vermooten, 2008; Irrigation in the, 2009], от 67 (17 881 км²) [Orontes River Basin..., 2013] до 70 % – на Сирию [Kloosterman, Vermooten, 2008; Irrigation in the..., 2009], от 23 [Kloosterman, Vermooten, 2008; 24] до 25 % (6 633 км²) – на Турцию [Global land cover..., 2014]. Согласно [Chaaban, El Khattabi, Darwishe, 2022] длина реки Эль-Аси (Оронт) составляет 571 км, средний расход воды около 80 м³/с [Никифорова, Табунщик, 2025].

В результате исследования получены карты высоты над уровнем моря, уклонов поверхности и экспозиции склонов (рис. 3.4).

Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) характеризуется значительным перепадом высот (рис. 3.4 а) от -3.2 м в турецкой части до 3 250 м в сирийских высокогорьях, что формирует чёткую высотную стратификацию с выделением низменностей (0–200 м, включая приустьевые участки Турции и сельскохозяйственные долины Сирии), предгорий (200–2000 м) и высокогорий (свыше 2000 м, в особенности хребет Ансария в Сирии с отметками до 3250 м). Пространственная организация рельефа демонстрирует резкую асимметрию: западный борт (Сирия) выше и круче восточного, что влияет на распределение осадков и стока, а низменные участки Турции (-3.2 м) служат зоной аккумуляции наносов. Высокогорные районы играют ключевую роль в питании реки, обеспечивая талые воды и осадки [Никифорова, Табунщик, 2025].

Карта уклонов поверхности (рис.3.4 б.) бассейна реки Эль-Аси (Оронт) демонстрирует неоднородность углов уклона, варьирующих от 0° (равнинные участки) до более 50° (крутые

склоны), с чётко выраженным градиентом увеличения наклона от центральных частей бассейна к периферийным горным районам. Уклон более 25° характерен для приграничных зон Турции и Ливана, где рельеф формируется отрогами горных систем Тавра и Антиливана, что обусловлено тектонической активностью региона. Уклон $5-15^\circ$ преобладает в предгорных районах Сирии (Хама, Хомс), переходя в практически плоские поверхности $0-3^\circ$ в аллювиальных долинах и депрессиях, что отражает геоморфологическую эволюцию бассейна под влиянием флювиальных процессов.

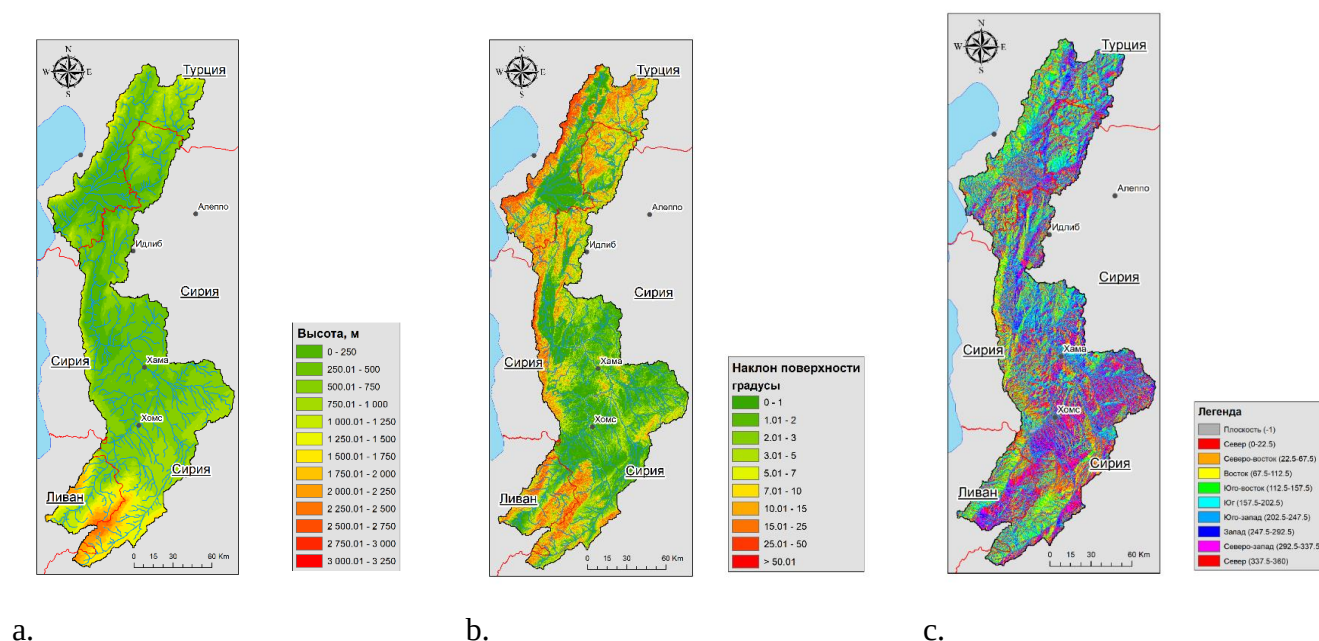


Рис. 3.4 – Морфометрические параметры бассейна реки Эль-Аси (Оронт) [Никифорова, Табунщик, 2025].

Наблюдаются участки с уклонами более 50° , локализованные в верховьях притоков, которые являются зонами интенсивной денудации и формирования твёрдого стока. Такое распределение склонов имеет определяющее значение для гидрологических процессов, влияя на скорость поверхностного стока, инфильтрационный потенциал и риски эрозионных процессов, что необходимо учитывать при разработке схем рационального природопользования в регионе [Никифорова, Табунщик, 2025].

Карта экспозиции склонов (рис.3.4 с.) бассейна реки Эль-Аси (Оронт) демонстрирует преобладание склонов северной, северо-восточной и юго-западной экспозиций, что оказывает существенное влияние на микроклиматические условия, распределение солнечной радиации, влажность почвы и, как следствие, на характер растительности и сельскохозяйственное использование территории.

Автором был проведён анализ четырнадцати морфометрических показателей посредством встроенных инструментов программного комплекса ArcGIS, которые дали следующие результаты, для всего бассейна и его частей (табл.3.1., табл. 3.2.).

Таблица 3.1 – Некоторые морфометрические характеристики бассейна реки Эль-Аси (Оронт) – для всего бассейна и его частей (Турция, Сирия, Ливан) [Никифорова, Табунщик, 2025].

Показатель	Значение			
	Бассейн реки в целом	В пределах Турции	В пределах Сирии	В пределах Ливана
1. Площадь бассейна, км ²	24668,5	5630,4	17048,4	1989,7
2. Периметр, км	1645,1	642,3	1300,5	308,1
3. Наибольшая высота, м	2625,0	2211,5	2625,0	2553,4
4. Наименьшая высота, м	-3,2	-3,2	85,5	514,3
5. Средняя высота бассейна реки, м	652,3	497,8	634,7	1320,2
6. Наибольший наклон поверхности, градусы	64,6	64,6	59,5	51,9
7. Средний наклон поверхности, градусы	5,86	8,7	4,7	9,4

Таблица 3.2 – Некоторые морфометрические показатели бассейна реки Эль-Аси (Оронт) [Никифорова, Табунщик, 2025].

Показатель	Значение (весь бассейн)
8. Изрезанность очертаний водораздельной линии бассейна (Коэффициент округлости)	2,96
9. Длина основного водотока, км	459,6
10. Параметр формы бассейна (коэффициент вытянутости водосбора)	8,56

11.	Коэффициент формы	0,12
12.	Длина речного бассейна, км	255,9
13.	Средний уклон бассейна реки, м/км	4,0
14.	Средняя ширина бассейна, км	96,4

Морфометрический анализ бассейна реки Эль-Аси (Оронт) свидетельствует о его значительной вытянутости, что подтверждается высоким коэффициентом вытянутости водосбора (8,56) и низким коэффициентом формы (0,12), характерным для узких и протяжённых бассейнов. Большая длина основного водотока (459,6 км) при относительно небольшой средней ширине бассейна (96,4 км) и умеренном среднем уклоне (4,0 м/км) указывает на преобладание продольного стока над боковым. Коэффициент округлости (2,96) отражает сложную конфигурацию водораздельной линии, обусловленную геоморфологическими особенностями региона, что в совокупности с другими параметрами определяет специфику водосборной территории [Никифорова, Табунщик, 2025].

Из всех проанализированных источников, результаты вычислений больше всего схожи на данные из работы [Irrigation in the, 2009], где указана площадь бассейна реки Эль-Аси (Оронт) 24 660 км². Кроме того, распределение площади между странами в статье (Сирия – 69%, Турция – 26%, Ливан – 8%) также ближе всего к данным из [Kloosterman, Vermooten, 2008] и [Irrigation in the, 2009]. Полученные расчёты позволили уточнить некоторые морфометрические характеристики бассейна реки Эль-Аси (Оронт), а также впервые получить новые данные о характеристике бассейна.

3.1.3. Климат

Область исследования расположена в субтропическом климатическом поясе, средиземноморском типе с зимне-весенним максимумом осадков и летней засухой [Atlas of the Orontes..., 2022]. Результаты различных исследований свидетельствуют о климатическом потеплении и аридизации данного региона [Climate change in..., 2015].

Среднегодовой температурный режим - средиземноморский. Самый низкий средний показатель приходится на январь – около 6-8 °С. Самый высокий среднемесячный показатель приходится на август – 24-29 °С [Traboulsi, 2004]. Восточные участки бассейна, включая Сирийскую пустыню, имеют аридный континентальный климат с летними температурами до +32,8°С, минимальными осадками (<100 мм/год) и частыми засухами, усугубляемыми ветрами хамсин, переносящими пыль и песок.

В бассейне реки Эль-Аси (Оронт) на территории Ливана количество осадков уменьшается с юга на север, с 400 мм до менее чем 200 мм, а затем увеличивается в сирийской и турецкой части бассейна – до 500-700 мм [Atlas of the Orontes..., 2022]. Среднегодовое количество осадков в бассейне реки оценивается в 644 мм [Irrigation in the..., 2009]. Осадки по сезонам распределены неравномерно, с выраженным зимним максимумом.

Стоит отметить, что за последнее столетие (с 1900 по 2005 год) в Сирии было шесть значительных засух, когда среднемесячный уровень зимних осадков (основного сезона дождей) упал примерно до одной трети от нормы [Gleick, 2014]. Начиная с 2006 года и до 2011 года, Сирия пережила многосезонный, многолетний период экстремальной засухи, который вызвал сельскохозяйственный упадок, экономические потрясения и миграцию населения. В статье Kelley [Climate change in..., 2015] утверждается, что перед сирийским восстанием, начавшимся в 2011 году, на плодородных землях Ближнего Востока наблюдалась самая сильная засуха за всю историю наблюдений. Для Сирии засуха стала катализатором, способствовавшим политическим волнениям.

В ходе исследования проанализирована пространственно-временная динамика ключевых климатических параметров в бассейне реки Эль-Аси (Оронт). В качестве первичных источников использованы реаналитические данные: температура воздуха – глобальный набор ERA5 с пространственным разрешением 0.25° ; атмосферные осадки – комбинированный продукт CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) для бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Процедуры отбора данных, их коррекции и статистического анализа соответствуют подходам, детализированным в ранее представленных методических материалах. Результаты обеспечивают исходную климатическую основу для последующего моделирования регулирующих экосистемных услуг.

В результате исследования был получен график изменения температурного режима в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) представлен на рисунке 3.5. Анализ графика динамики среднегодовой температуры воздуха в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2024 гг. выявил следующие закономерности: средние значения температуры (на графике MEAN) варьировали в диапазоне $10\text{--}15^\circ\text{C}$, демонстрируя устойчивую положительную динамику с начала 1990-х годов; минимальные показатели ($0\text{--}5^\circ\text{C}$) отмечались преимущественно в первой половине исследуемого периода, тогда как после 2000 г. зафиксирован выраженный рост экстремальных максимумов, достигающих 15°C и выше, что согласуется с глобальными климатическими трендами. Особенно заметное повышение температуры (на $1.5\text{--}2^\circ\text{C}$ относительно среднемноголетних значений) наблюдалось в последнее десятилетие (2014–2024 гг.), при этом межгодовая изменчивость усилилась, о чём свидетельствует увеличение

амплитуды между минимальными и максимальными значениями. Полученные данные подтверждают наличие процессов потепления в регионе.

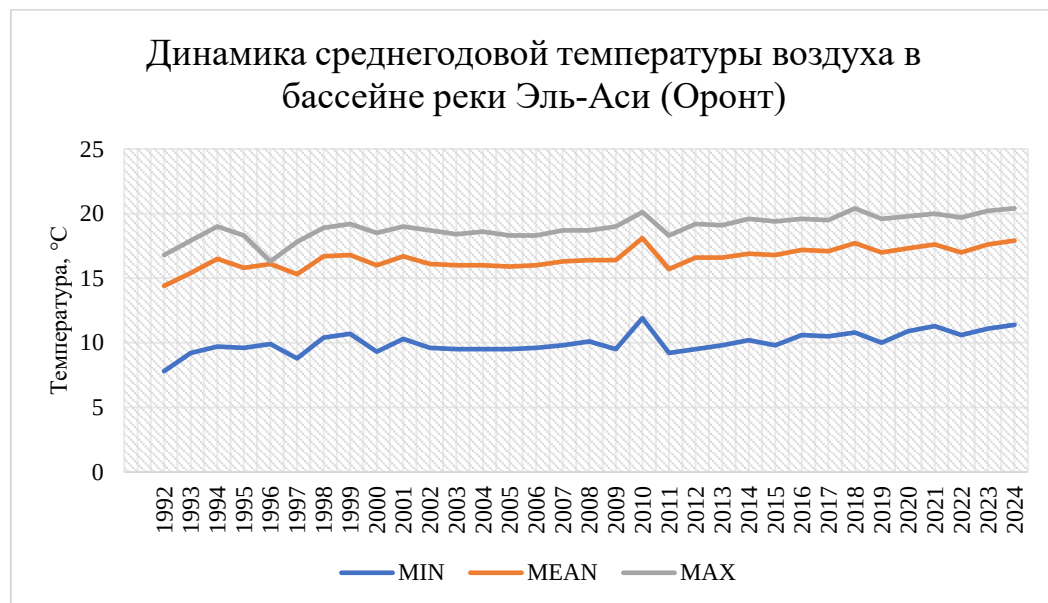


Рис. 3.5 – Динамика среднегодовой температуры воздуха, в пределах бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

В ходе исследования была получена карта (рис.3.6) средних многолетних температур бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

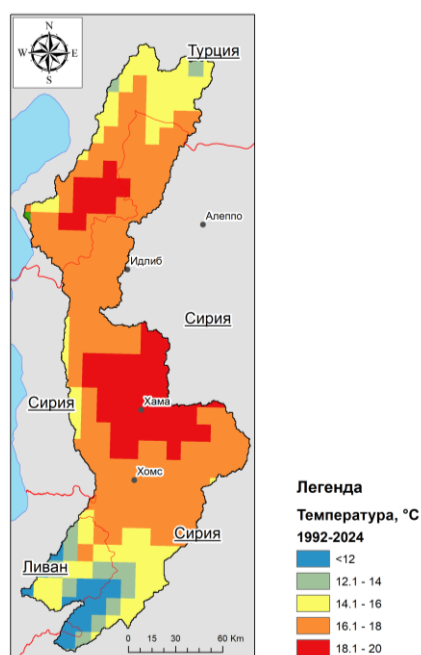


Рис. 3.6 – Средние многолетние температуры на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт) в период 1992-2024 гг.

Анализ пространственного распределения среднегодовой температуры воздуха в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) по данным за период 1992–2024 гг. выявил выраженную широтную зональность и влияние орографии на термический режим территории. Наибольшие значения температуры (свыше 18°C) характерны для низменных участков юго-западной части бассейна, что обусловлено меньшей абсолютной высотой и влиянием средиземноморских воздушных масс. Показатели ($14\text{--}16^{\circ}\text{C}$) преобладают в центральных районах, включая основные долинные ландшафты, тогда как пониженные температуры ($12\text{--}14^{\circ}\text{C}$ и менее 12°C) зафиксированы в горных системах Антиливана и других возвышенных территориях северо-восточной части бассейна, где проявляется высотная поясность. Особый интерес представляет контраст между западными (приморскими) и восточными (континентальными) секторами бассейна, демонстрирующий градиент уменьшения температур в направлении с юго-запада на северо-восток, что коррелирует с уменьшением влияния Средиземного моря.

В результате проведённого исследования созданы карты (рис. 3.7) пространственного распределения среднегодовой температуры воздуха на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт) с 1992 по 2020 гг., отражающие трансформацию температурного режима.

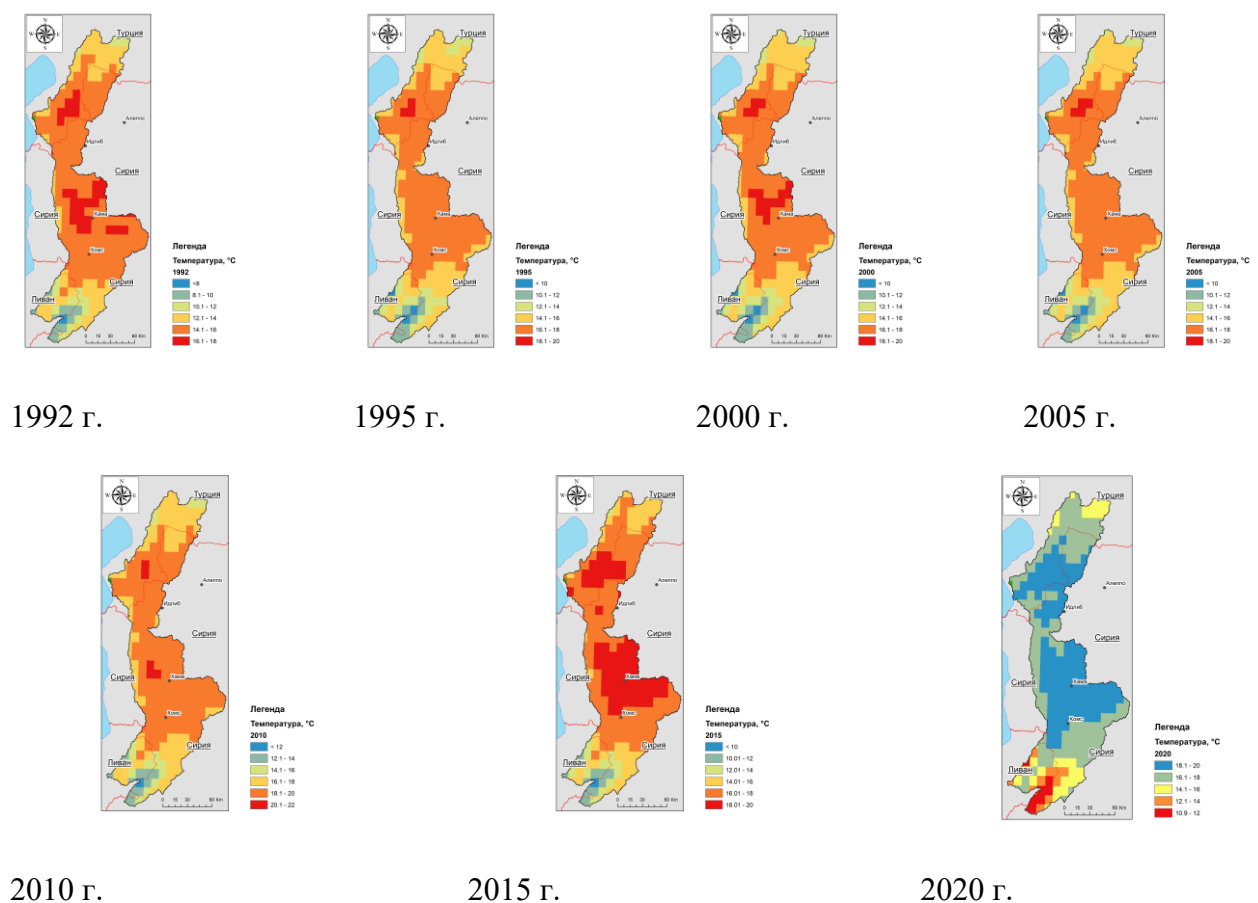


Рис. 3.7 – Среднегодовые температуры воздуха на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992 по 2020 гг.

Пространственный анализ среднегодовых температур воздуха в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг. выявил выраженную динамику термических условий, характеризующуюся постепенным смещением изотерм в северо-восточном направлении и изменением структуры температурных полей. В 1992 г. температурный режим отличался контрастностью: преобладали значения 10–14°C на большей части территории, при этом в высокогорных районах фиксировались показатели ниже 8°C, а в юго-западных низменностях — 14–16°C. К 1995 г. наметилась тенденция к потеплению, проявившаяся в сокращении зон с температурами менее 10°C и расширении областей с диапазоном 12–16°C, особенно в центральной части бассейна. К 2000–2005 гг. сформировался устойчивый тренд на повышение фоновых температур: исчезли участки с показателями ниже 10°C, увеличилась площадь территорий с значениями 14–18°C, при этом в низовьях реки появились локальные участки с температурами выше 18°C. Наиболее значительные изменения произошли в 2010–2020 гг., когда в южных районах бассейна стали регулярно фиксироваться значения 18–20°C, а зона с температурами 16–18°C расширилась на 25–30% по сравнению с 1990-ми годами. Горные системы Антиливана демонстрировали меньшие темпы потепления, но и здесь отмечалось сокращение холодных участков (менее 12°C) на 15–20%. Пространственная дифференциация температур усилилась: если в 1992 г. перепад между низменными и высокогорными районами составлял 6–8°C, то к 2020 г. он достиг 8–10°C. Полученные данные свидетельствуют об интенсификации процессов аридизации в южной части бассейна.

В результате исследования был получен график изменения количества осадков в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), представлен на рисунке 3.8.

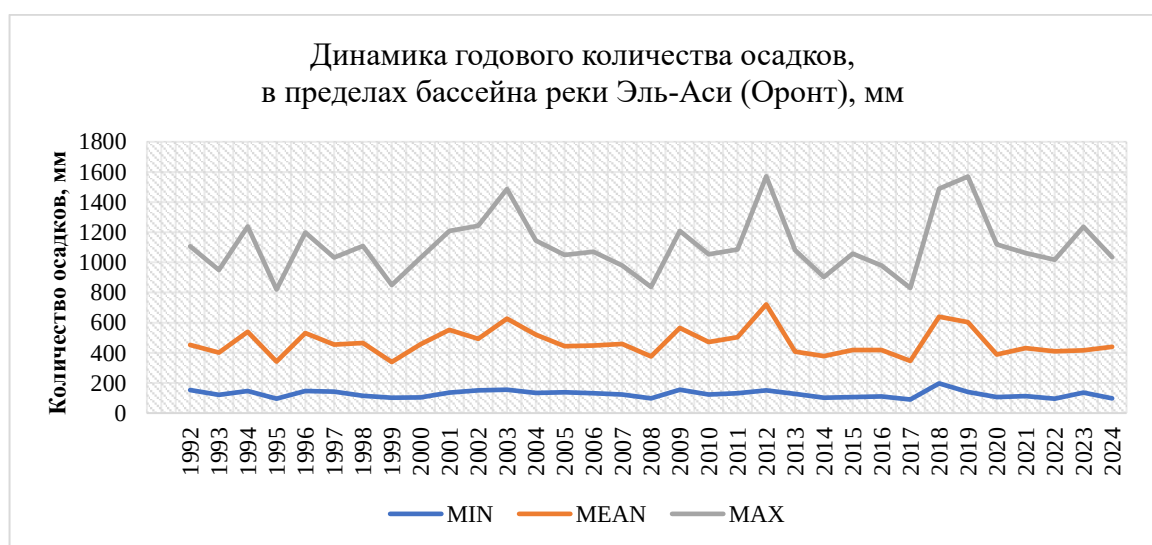


Рис. 3.8 – Динамика годового количества осадков, в пределах бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Анализ динамики годового количества осадков в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) (рис. 3.9) выявил межгодовую изменчивость с диапазоном колебаний от 250 до 650 мм, при этом средние многолетние значения (MEAN) демонстрируют устойчивую тенденцию к снижению на 10-15% за период наблюдений, особенно выраженную после 2010 года. Минимальные показатели (MIN) осадков, достигающие 200-250 мм в засушливые годы, стали встречаться на 20-25% чаще в последнее десятилетие по сравнению с 1990-ми годами, тогда как экстремально влажные годы (MAX) с количеством осадков 600-650 мм проявляют тенденцию к сокращению повторяемости. Наибольшая амплитуда колебаний наблюдалась в период 2005-2015 гг., когда разница между экстремальными значениями достигала 400 мм, что свидетельствует о возрастающей неустойчивости увлажнения в регионе.

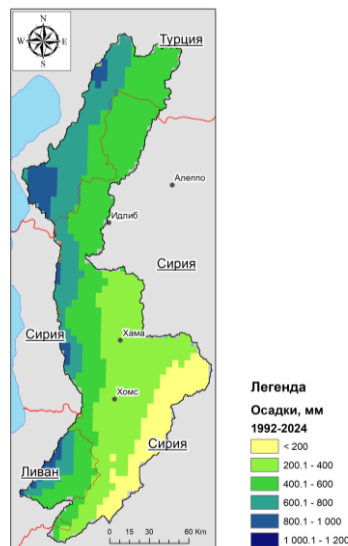


Рис. 3.9 – Средние многолетние значения количества осадков на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт), 1992-2024 гг.

Анализ пространственного распределения средних многолетних значений количества осадков в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) выявил неоднородность увлажнения, обусловленную орографическими особенностями территории и влиянием средиземноморских воздушных масс. Максимальные показатели осадков (более 1000 мм/год) характерны для западных наветренных склонов горных хребтов, где проявляется эффект орографического подъема влажных воздушных потоков, тогда как минимальные значения (менее 200 мм/год) зафиксированы в восточных районах бассейна, находящихся в дождевой тени горных систем. Промежуточные зоны с осадками 400-800 мм/год формируют переходный пояс, охватывающий центральные части водосбора, где наблюдается постепенное снижение увлажнения в направлении с запада на восток. Особый контраст наблюдается между прибрежными районами (600-800 мм/год) и

внутриконтинентальными территориями (200-400 мм/год), демонстрирующий резкое уменьшение осадков на расстоянии 50-70 км от побережья.

Пространственный анализ распределения годового количества осадков в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг. выявил устойчивые пространственные закономерности динамики увлажнения территории (рис.3.10).

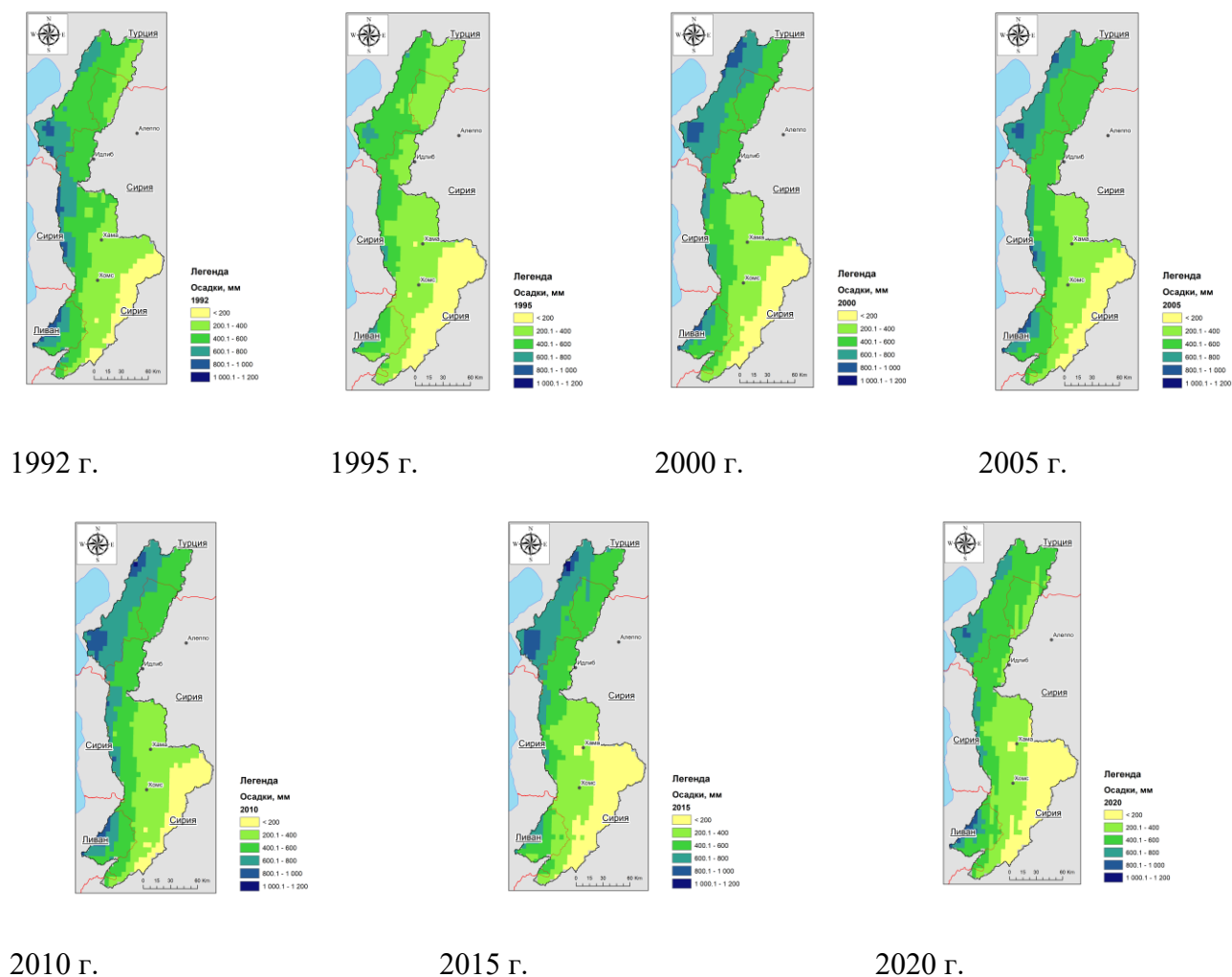


Рис. 3.10 – Значения годового количества осадков на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992 по 2020 гг.

На протяжении всего исследуемого периода сохраняется чётко выраженный градиент уменьшения осадков в направлении с северо-запада на юго-восток, обусловленный орографическим эффектом горных хребтов и удалённостью от влагонесущих средиземноморских воздушных масс. В 1992–1995 гг. максимальные значения осадков (более 1000 мм/год) фиксировались преимущественно в западной горной части бассейна, тогда как восточные районы характеризовались минимальными показателями (менее 200 мм/год), формируя классическую картину дождевой тени. К 2000–2005 гг. наметилась тенденция к

сокращению площади территорий с осадками 800–1000 мм/год и расширению зоны с показателями 400–600 мм/год в центральной части бассейна, что особенно заметно на картах 2005 и 2010 гг. Наиболее существенные изменения произошли в период 2015–2020 гг., когда в западных предгорных районах сократилась площадь участков с осадками более 800 мм/год на 15–20%, а в восточной части бассейна увеличилась частота появления зон с количеством осадков менее 200 мм/год. При этом пространственная структура изогий сохранила свою общую конфигурацию, демонстрируя устойчивость основных механизмов формирования осадков в регионе. Особого внимания заслуживает увеличение контрастности увлажнения между горными и равнинными территориями: если в 1992 г. разница между максимальными и минимальными значениями составляла 800–1000 мм, то к 2020 г. этот показатель достиг 1000–1200 мм. Полученные результаты свидетельствуют об усилении аридизации восточных районов бассейна при относительной стабильности увлажнения в западной горной части.

Анализ климатических изменений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2024 гг. выявил устойчивое повышение среднегодовой температуры на 1.5–2.0°C с выраженным ростом экстремальных максимумов (до +20°C в южных районах), сокращением холодных зон в горах Антиливана на 15–20% и усилением термического градиента между низменными и горными территориями с 6–8°C до 8–10°C, при этом осадки демонстрируют тенденцию к снижению среднееголетних значений на 10–15% с заметной аридизацией восточных районов (уменьшение до 200 мм/год) и сохранением относительной стабильности увлажнения в западной горной части (800–1000 мм/год), что привело к увеличению контрастности увлажнения между прибрежными и континентальными территориями с 800–1000 мм до 1000–1200 мм, особенно выраженному в период 2015–2020 гг.

3.1.4. Поверхностные воды

Река Эль-Аси (Оронт) имеет два притока, которые расположены в Турции и Сирии: Африн и Карасу. Река Африн (протяженность 131 км) берет свое начало в Турции, проходит через территорию Сирии и впадает в Эль-Аси (Оронт) в районе Хатая. Карасу (протяженность 120 км) является вторым главным притоком реки Эль-Аси (Оронт) [Orontes River Basin..., 2013], река питается горными источниками, талыми снегами и обладает значительными запасами воды. Для его режима стока является типичным максимальный расход зимой из-за повышенного количества осадков, а меженный сток летом поддерживается исключительно за счет выклинивания подземных вод [Рысбеков, Рысбеков, 2015].

Воды реки Оронт и ее притоков интенсивно используются во всех прибрежных странах для орошения, бытового водоснабжения и обслуживания промышленности. Однако основную

нагрузку на водные ресурсы создают односторонние планы развития Сирии и Турции по расширению орошаемых площадей, а также сброс Сирией неочищенных промышленных и бытовых сточных вод в реку, что делает проблематичным их использование в нижнем течении. Водами реки Оронт орошаются плодородные равнины Хомс, Хама, Эль-Габ. Местами река образует озера и болота. Наиболее крупное озеро – Хомс, болота – Ашарна и Габ. Судоходство практически отсутствует. Река Оронт является единственным постоянным водотоком в западной Азии [Оронт (река)..., 2023]. В сирийской части бассейна реки Эль-Аси (Оронт) интенсивно используют как подземные, так и поверхностные воды: в период с 1992 по 2009 год среднегодовой объем использования подземных вод для орошения (1111 млн м³, или 56%) превысил объем использования поверхностных вод (886 млн м³, или 44%) [Рысбеков, Рысбеков, 2015].

Совокупный годовой речной сток бассейна реки Эль-Аси (Оронт) оценивается в 2.8 км³/год, с пространственным распределением по территории стран: Ливан (~11%, или 0.3 км³/год), Сирия (~46%, или 1.2 км³/год) и Турция (~43%, или 1.3 км³/год). Режим стока характеризуется выраженной внутригодовой неравномерностью: к примеру, в период 2007–2011 гг. летний сток на трансграничном участке с Турцией снижался до 0 м³/с вследствие интенсивного водозабора в верхнем течении, при этом среднеегодовое расхождение воды на территории Турции составляет приблизительно 67 м³/с [Kibaroglu, Jaubert, 2016].

С целью увеличения оросительной способности Сирия за эти годы построила более 40 плотин на территории бассейна. В 2006 году общий объем всех их водохранилищ в бассейне достиг примерно 950 млн м³ [Рысбеков, Рысбеков, 2015]. Сегодня река Эль-Аси (Оронт) используется для орошения 6% территории в Ливане, 36% в Турции и 58% в Сирии. В общей сложности это около 350 000 гектаров земли. В долине Бекаа в Ливане орошение обеспечивает питание полевых культур, фруктов и овощей. Мохафазат Идлеб и долина Аль-Габ в Сирии развита ирригация. В Турции используются плотины Ярсели и Карамнали [Реки Ближнего Востока..., 2015].

Гидрологический режим реки Эль-Аси (Оронт) в Сирии характеризуется повышенной водностью зимой. Весенние дожди и таяние снегов приводят к повышению уровня воды в верховьях в период с апреля по июнь. Подъем воды в Габе происходит в период с января по март из-за влияния притоков реки [Orontes River Basin..., 2013].

3.1.5. Почвы

В рамках диссертационного исследования, почвы бассейна реки Эль-Аси (Оронт) были изучены посредством литературных источников и мировых баз почв, так как экспедиция в

Сирийскую Арабскую Республику для изучения бассейна была отменена (за 1 неделю до вылета, весной 2023 года, по причине напряженной политической обстановки). Начиная с указанного периода, доступ в бассейн реки Эль-Аси (Оронт) для проведения научных исследований оказался невозможен.

Большее половины территории Сирии расположено в полупустынной и пустынной зонах [Самер, Мамонтов, Афанасьев, 2008]. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) включает в себя типы основных почв, характерные для данного района: коричневые почвы ксерофитных субтропических лесов и кустарников, а также горные серо-коричневые [Карта почв: атлас..., 2023].

Почвы в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) формируются под влиянием сложного сочетания геологических, климатических и антропогенных факторов. В рифтовой зоне Эль-Габ, через которую протекает река, преобладают аллювиальные почвы, сформированные речными наносами. Эти почвы отличаются высоким плодородием, что исторически способствовало развитию орошаемого земледелия в данном регионе. Аллювиальные отложения, обогащенные органическим материалом, обеспечивают оптимальные условия для выращивания сельскохозяйственных культур, таких как зерновые и овощи. Однако интенсивное использование земель и ирригация могут приводить к засолению и деградации почвенного слоя, что характерно для аридных и полуаридных зон [Самер, Мамонтов, Афанасьев, 2008].

В юго-западной части бассейна, в области Хауран, почвы образованы выветренными лавовыми породами. Эти вулканические почвы обладают высокой минерализацией и устойчивой структурой, что делает их пригодными для земледелия, особенно при наличии достаточного увлажнения. Однако их использование осложняется наличием крупнообломочного материала, оставшегося от извержений, который затрудняет механическую обработку. В горных районах, таких как хребты Ансария и Антиливан, почвы формируются на известняковых породах, что обуславливает их низкую мощность и высокую карбонатность. Эти почвы менее пригодны для земледелия и используются преимущественно как пастбища [Paiwi, 2001]. Антропогенное воздействие, включая урбанизацию и промышленную деятельность, оказывает значительное влияние на почвы бассейна.

Для подготовки картографического материала была взята карта, подготовленная Арабским центром по изучению засушливых зон и засушливых земель (ACSAD) в масштабе 1:1 000 000 [JOINT RESEARCH CENTRE..., 2025], где обозначены почвы Сирии и Ливана. Условные обозначения почвенной карты включают 55 групп почвенных ассоциаций на уровне подгрупп. Также, на основе Атласа почв Европы [JOINT RESEARCH CENTRE..., 2025] была проанализирована карта почв Турции (рис.3.11). На основании данного картографического материала была подготовлена карта почв бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

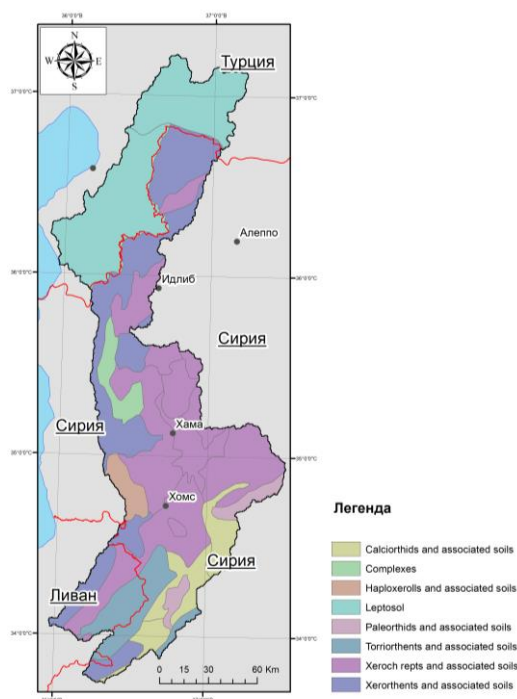


Рис. 3.11 – Карта почв бассейна реки Эль-Аси (Оронт), составленная по [JOINT RESEARCH CENTRE..., 2025].

Все названия почв на рисунке приведены из Международной классификации почв, разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) ООН [ФАО, 2025]. В ходе исследования на основе работы [Герасимова, Красильникова, 2024] автором были сопоставлены почвенные таксоны международной классификации ФАО с положениями российской почвенной систематики. Доминирующими типами почв являются Xerorthents и Xerochrepts, занимающие наибольшие площади (суммарно более 50% территории), что в российской классификации соответствует малоразвитым и слабогумусированным коричневым полупустынным почвам, формирующимся в условиях аридного климата. Calciorthids и Paleorthids (аналоги кальциевых и палевых солонцов и солончаков) распространены локально, преимущественно в центральной части бассейна, занимая около 15-20% площади и указывая на процессы засоления и карбонатной аккумуляции. Leptosols (аналоги литоземов и слабообразованных каменистых почв) встречаются фрагментарно (около 10% площади), что связано с выходом коренных пород на крутых склонах. Haploxerolls (аналоги черноземовидных почв сухих степей) занимают ограниченные участки (менее 5%), демонстрируя лучшую гумусированность в пониженных элементах рельефа.

Мощность гумусового горизонта является ключевым индикатором услуг почв по поддержанию биохимического потенциала и плодородия. На основе проведенного пространственного анализа распределения мощности гумусового горизонта в бассейне реки

Эль-Аси (Оронт) выявлена пространственная неоднородность данного показателя, что отражает дифференциацию условий почвообразования на исследуемой территории (рис.3.12).

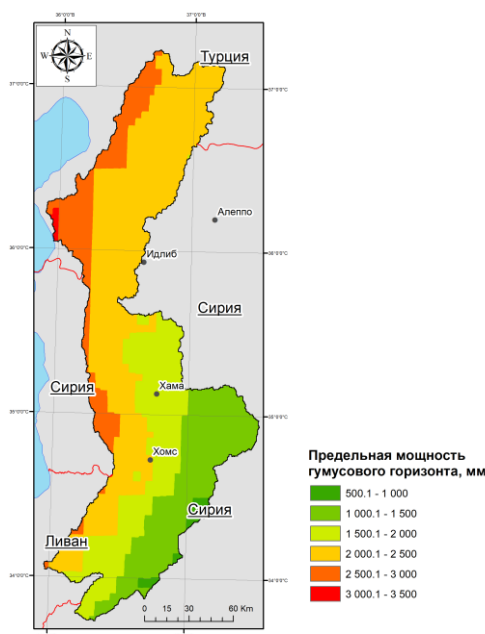


Рис. 3.12 – Предельная мощность гумусового горизонта в бассейне реки Эль-Аси (Оронт)

Почвы с наибольшей мощностью гумусового горизонта приурочены к пойменным и равнинным ландшафтам с благоприятными условиями для аккумуляции органического вещества. Участки со средними значениями занимают склоновые территории с развитыми зональными типами почв. Минимальные значения характерны для горных территорий.

Почвы данного района очень ценные для сельского хозяйства, но требуют обводнения и орошения. Почвы слабо засоленные, структурированные, коричневые, если они не истощены активным использованием - отличаются высоким плодородием. Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что почвенный покров бассейна реки Эль-Аси (Оронт) характеризуется локальным распространением засоленных и относительно плодородных почв, которые сильно зависят от водного режима. Выявленная пространственная неоднородность почвенного покрова свидетельствует о высокой уязвимости экосистем бассейна. Стоит отметить, что бассейн реки Эль-Аси (Оронт) можно считать одним из самых загрязненных районов Восточного Средиземноморья из-за интенсивной городской застройки, интенсивного орошения сельскохозяйственных угодий и большого количества различных отраслей промышленности [Urban Soil Pollution..., 2019]

По данным ФАО ООН, в период с 2011 по 2016 год сельскохозяйственный сектор понес убытки в размере 16 миллиардов долларов, что эквивалентно снижению ВВП от сельскохозяйственной продукции на 41% из-за производственных потерь, ущерба и разрушения инфраструктуры и активов (повреждение ирригационных систем и нехватка таких ресурсов, как удобрения, топливо и семена). Вооруженный конфликт сократил площадь обрабатываемых земель в среднем на 30%, а орошаемых — на 50% [The Environmental Impact..., 2021].

Также, автором были получены данные, отражающие потенциальные потери почв, по модели RUSLE, для бассейна реки Эль-Аси (Оронт), которые представлены на рисунке 3.13. Динамика эрозии в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) характеризуется значительной пространственной неоднородностью, что отражается в широком диапазоне значений потерь почвы — от 0 до более 150 000 т/га/год. Наибольшие потери наблюдаются в зонах с интенсивным антропогенным воздействием, таких как распаханнные земли, а также в районах с крутыми склонами и слаборазвитым растительным покровом. Умеренные показатели эрозии (1 000–25 000 т/га/год) характерны для территорий с частичным растительным покрытием, в то время как минимальные потери (менее 1 000 т/га/год) отмечаются в стабильных экосистемах, включая лесные массивы и участки с густой травянистой растительностью.

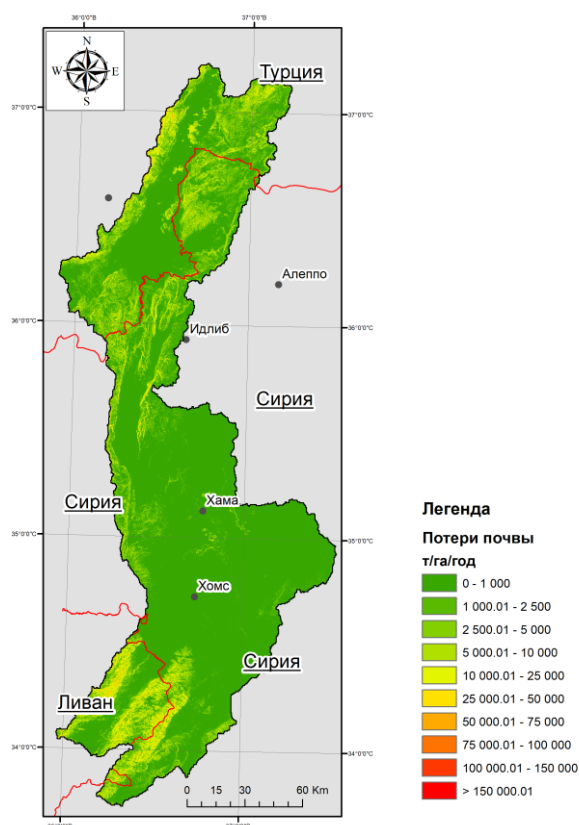


Рис. 3.13 – Потенциальные потери почв в бассейне реки Эль-Аси (Оронт).

Динамика эрозии почв в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в значительной степени определяется особенностями рельефа, который формирует пространственную неоднородность процессов смыва и аккумуляции почвенного материала. Наибольшие темпы эрозии наблюдаются в районах с выраженным расчленением рельефа, включая крутые склоны горных и предгорных территорий, где гравитационные и водные процессы усиливают транспортировку почвенных частиц. В этих зонах, особенно при отсутствии устойчивого растительного покрова, эрозия достигает экстремальных значений (свыше 25 000 т/га/год), а на отдельных участках – критических уровней (более 100 000 т/га/год), что связано с высокой кинетической энергией стока и слабой устойчивостью почв к размыву.

В противоположность этому, равнинные и слабонаклонные участки бассейна, включая аллювиальные долины и плато, демонстрируют минимальные показатели эрозии (менее 1 000 т/га/год) благодаря сниженной энергии поверхностного стока и аккумуляции наносов. Значения 1 000–25 000 т/га/год характерны для холмистых территорий, где интенсивность эрозии зависит от степени антропогенного воздействия и состояния растительного покрова.

В ходе исследования был проведен анализ данных о распределении площадей в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), который представлен в табл.3.3.

Таблица 3.3 – Процентное соотношение потерь почвы бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Потери почвы (т/га/год)	км ²	%
до 1000	12612.3	51.1
1000-2500	1211.2	4.9
2500-5000	723.7	2.9
5000-10000	722.9	2.9
10000-25000	7205.0	29.2
25000-50000	898.2	3.6
50000-75000	458.5	1.9
75000-100000	261.8	1.1
100000-150000	251.2	1.0
> 150000	323.2	1.3

Более половины площади водосбора (51,1%) характеризуется относительно низким уровнем потенциальных потерь, не превышающим 1000 т/га/год. Категории со средним уровнем потерь (1000–10000 т/га/год) занимают в сумме около 11% бассейна. Наиболее критичными являются территории с высоким и очень высоким потенциалом потерь (от 10000 до 150000 т/га/год и выше), на которые приходится свыше 37% общей площади. Почти 6%

территории (категории от 25000 до >150000) подвержены экстремальной эрозии с потенциальными потерями свыше 25000 т/га/год. Таким образом, несмотря на преобладание низкоэродируемых земель, бассейн реки Эль-Аси в целом является уязвимым к процессам водной эрозии.

3.1.6. Растительный и животный мир

Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) расположен в пределах зоны средиземноморских жестколистных вечнозеленых лесов и кустарников, характеризуется наличием высотных поясов. На территории Сирии основные представители флоры: можжевельник (*Juniperus sp.*), боярышник (*Crataegus sp.*), дуб (*Quercus sp.*), капер (*Capparis spinosa*), барбарис (*Berberis sp.*), а также культурные и дикорастущие плодовые деревья, а именно: миндаль (*Prunus. amygdalus*), абрикосы (*Prunus armeniaca*), вишня (*Prunus. avium*), сливы (*Prunus domestica*), персики и нектариновые деревья (*Prunus persica*), дикая и культурная груша (*Pyrus sp.*), маслины, инжир [Using machine learning..., 2023]. На территории Ливана редкие можжевельниковые леса фрагментарно произрастают на восточных склонах хребта Ливан, в районе Каса-де-Эрмель. Все массивы подверглись вырубкам и сильной эрозии почв [Orontes River Basin..., 2013], что привело к деградации естественных местообитаний [МЕТАР, 1995]. Дубовые рощи на восточных склонах Ливана (Ямуне–Хермель) распределены прерывисто; на западных склонах Антиливана сохранились фрагментарные насаждения к востоку от Баальбека до южной части бассейна. Растительность бассейна реки на территории Турции представляет доминирование ксерофитных формаций, включая разреженные дубовые (*Quercus sp.*) и можжевельниковые (*Juniperus sp.*) редколесья, а также антропогенно трансформированные агроландшафты в низовьях реки, где интенсивное орошаемое земледелие (особенно на равнине Амук) привело к фрагментации естественных фитоценозов и расширению вторичных засоленных пустошей вследствие подъема уровня грунтовых вод и накопления солей [Dikici, 2022].

Животный мир жестколистных лесов и кустарников представлен копытными, грызунами. Большинство диких копытных, обитавших на территории Сирийской Арабской Республики, были истреблены в исторические времена [Masseti, 2004]. В настоящее время дикий кабан *Sus scrofa*, косуля *Capreolus capreolus* и три вида газелей *Gazella subgutturosa*, *G. dorcas* и *G. gazella* обитают и частично представлены в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) [Masseti, 2004]. В водах реки встречается большое количество ихтиофауны. В работе [Özcan, 2013] указывается, что в реке, в пределах региона Хатай (Турция), зарегистрировано 50 видов рыб. Özcan G. and Ayhan A. [Özcan, 2015] подчеркивают, что бассейн реки Эль-Аси (Оронт) является вторым самым богатым бассейном с точки зрения разнообразия эндемичных видов

пресноводных рыб (8-10 видов рыб) на средиземноморском побережье после бассейна реки По (11-17 видов, Италия)). Начиная с 2010-х годов количество видов сокращается в результате развития конфликта и поступления в воды реки Эль-Аси (Оронт) загрязняющих веществ. В настоящее время в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) насчитывается восемь видов земноводных, принадлежащих к пяти семействам [The Composition, Distribution..., 2025].

3.2. Исторический контекст формирования современных ландшафтов и природопользования на территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт)

Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) расположен в пределах трех стран: Сирийской Арабской Республики, Турецкой Республики и Ливанской Республики. Крупнейшие города в бассейне: Алеппо, Хама и Хомс в Сирии, а также Антакья в Турции. Эти города являются важными транспортными, торговыми и культурными узлами, что подчеркивает стратегическое значение бассейна реки для всего региона.

Одним из самых значимых исторических событий в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), повлиявших на ландшафты, стала Гражданская война в Сирии.

Гражданская война в Сирии – это массовые волнения и беспорядки в Сирии, которые направлены против президента страны Башара Асада, а также на прекращение правления партии Баас, переросшие осенью 2011 года в вооружённое противостояние [Чернышев, 2013]. В мае 2011 г. в качестве одной из первых попыток разрешить конфликт США и ЕС вводят санкции в отношении Сирии (запрет экспорта оружия, заморозка счетов, лишение права на въезд чиновников сирийского правительства) [Количество беженцев из..., 2023]. При этом произошел резкий сдвиг ситуации, на территорию Сирии стали проникать террористы и образовывать там группировки. Так появилось и набрало силу так называемое «Исламское государство»¹ [Микрюков, 2016].

Война в Сирии отразилась на мировой политике с точки зрения вовлеченности более 20 иностранных государств в боевые действия на суше и в воздухе. В их число вошли Иран, Россия, США и Турция, не считая ограниченных контингентов из Великобритании, Китая, Франции и других. «Отличительной чертой конфликта явились беспрецедентные масштабы участия негосударственных акторов (в виде иррегулярных формирований). Из-за разрухи, вызванной многолетней гражданской войной, и санкций Запада, в последние годы в Сирии сложная экономическая ситуация. По сельскому хозяйству в 2021 году сильно ударила засуха – сильнейшая за 70 лет. Наблюдается нехватка воды для населения, домашних животных и для орошения. До 60% сократилось поголовье скота. В некоторых местах производство

¹ группировка, запрещенная в России и считающаяся террористической [Микрюков, 2016].

сельхозкультур снизилось на 90% по сравнению с 2020-м. Как результат – ухудшение ситуации в области продовольственной безопасности для 12,4 млн сирийцев. Постоянные турецкие обстрелы, засуха, нехватка воды, продовольствия и отсутствие электричества способствуют росту внутренней и внешней миграции» [Для мира на..., 2024].

Согласно Концепции внешней политики Российской Федерации от 12 февраля 2013 г., «Россия будет вносить весомый вклад в стабилизацию обстановки в регионе Ближнего Востока... проводить последовательную линию на содействие достижению гражданского мира и согласия во всех государствах Ближнего Востока ..., и в регионе в целом на основе уважения суверенитета и территориальной целостности государств и невмешательства в их внутренние дела. ... Россия будет содействовать созданию на Ближнем Востоке зоны, свободной от оружия массового уничтожения и средств его доставки» [Концепция внешней политики..., 2013; Каберова, 2016]. Необходимо отметить экономическое сотрудничество. В июне 2015 г. в Санкт-Петербурге состоялся XIX Петербургский международный экономический форум. В панельной сессии «Россия – Ближний Восток: новые возможности инвестиционного сотрудничества» приняли участие представители Египта, Бахрейна, Ливана, Иордании, Саудовской Аравии. В качестве представителя российской стороны выступал заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации Виктор Евтухов. Отмечалось, что развитие сотрудничества в регионе Ближнего Востока имеет ключевое значение в глобальном контексте и является одним из приоритетов, а может быть, в ближайшие годы станет и главным приоритетом российской внешней политики [Официальный сайт Петербургского..., 2015; Каберова, 2016].

Выделяя основные вооруженные события на территории всей Сирии, можно выделить следующую последовательность:

- Март 2011 г. – Первые протесты быстро распространились по стране, силы безопасности ответили арестами и расстрелами;
- Июль 2011 г. – Протесты перерастают в вооруженное восстание при растущей поддержке Турции, западных и арабских государств;
- Июнь 2012 г. – Сирийские оппозиционные силы, включающие так называемую Свободную сирийскую армию и исламистские группировки с их различными организациями и идеологическим фоном, берут под контроль несколько сирийских провинций. Пострадавшими регионами являются северные части провинции Алеппо на границе с Турцией, некоторые кварталы города Хомс, западные части провинции Хомс, части провинции Риф Дамаск, расположенные в Восточной Гуте на востоке города Дамаск, и небольшие части провинций Хама и Идлиб;
- Июль 2012 г. – Вооруженная сирийская оппозиция начинает наступление в Алеппо, втором по величине городе страны, и контролирует несколько районов города, взяв

под контроль всю северную часть провинции Алеппо. После этого война обостряется, и первые жители покидают свои жилища;

- Июнь 2013 г. – Вооруженная сирийская оппозиция взяла под контроль почти всю провинцию Идлиб, западную, северную и восточную части провинции Алеппо, все провинции Эр-Ракка, Дейр-эз-Зор, южные части провинции Дара на юге страны, части провинции Риф-Дамаск, такие как Восточная Гута, районы, прилегающие к ливанской границе, и части юго-западной части провинции Хомс;
- Октябрь 2013 г. – Армия восстанавливает контроль над частями провинций Хомс и Идлиб. На этом этапе административный сектор сирийской оппозиции расширился;
- Январь 2014 г. – После того, как «Исламское государство Ирака и Леванта» (ИГИЛ²) отделилось от «Аль-Каиды»³ и провозгласило халифат в Ираке и Сирии, оно берет под контроль провинцию Эр-Ракка, а затем расширяет свое господство на обширные территории в Сирии и Ираке;
- Сентябрь 2014 г. – контроль ИГИЛ⁴ распространился на большую часть провинций Эль-Хасака, Дейр-эз-Зор и значительные части провинций Алеппо, Хомс, Хама и Риф-Дамаск;
- Сентябрь 2014 г. – США создают международную коалицию против ИГИЛ² и наносят авиаудары, чтобы сдержать продвижение ИГИЛ²;
- Март 2015 г. – Силы сирийской оппозиции захватывают провинцию Идлиб на северо-западе Сирии;
- Сентябрь 2015 г. – Россия присоединяется к войне в поддержку правительственных сил Сирии, размещает истребители на сирийском побережье и оказывает военную помощь, что быстро останавливает конфликт;
- Август 2016 г. – Сирийские демократические силы восстанавливают контроль над большими частями провинций Эль-Хасака, Ракка и Алеппо к востоку от реки Евфрат. Турция поддерживает силы сирийской оппозиции в провинции Алеппо, в то время как ИГИЛ² вытесняется с большой территории на востоке провинции;
- Декабрь 2016 г. – После месяцев осады и бомбардировок правительственные силы Сирии и их союзники взяли под полный контроль город Алеппо;
- Январь 2017 г. – Россия, Иран и Турция встречаются в Астане, Казахстан, чтобы урегулировать ситуацию в Сирии, параллельно с нестабильными мирными усилиями, поддерживаемыми Организацией Объединенных Наций. Зоны деэскалации в Сирии были

² - Запрещённая в России террористическая организация.

³ - Запрещённая в России террористическая организация.

⁴ - Запрещённая в России террористическая организация.

созданы соглашением между этими странами [Объяснение «зон деэскалации»..., 2023]. Зоны деэскалации включали северо-западную Сирию (мухафаза Идлиб и прилегающие районы, части провинций Хама, Латакия и Алеппо), а также районы в центральной и южной Сирии (мухафазы Хомс и Дара);

- Ноябрь 2017 г. – Сирийские демократические силы при поддержке США берут под контроль город Ар-Ракка, столицу ИГИЛ². Таким образом, регион Восточного Евфрата, состоящий из провинции Эль-Хасака и частей провинций Ар-Ракка и Дейр-эз-Зор, находится под полным контролем этих сил. Одновременно армия правительственных сил Сирии доминирует на территориях ИГИЛ³, расположенных в провинциях Дейр-эз-Зор, Эр-Ракка, Хомс, Алеппо и Риф-Дамаск на западе реки Евфрат. Таким образом, ИГИЛ⁵ теряет почти всю ранее оккупированную территорию;

- Апрель 2018 г. – Правительственные силы Сирии восстанавливают контроль над районом Гута в сельской местности Дамаска и отбивают анклав, контролируемые оппозиционными силами в центральной Сирии в сельских районах Дамаска, Хомса и Хамы;

- Сентябрь 2018 г. – Между Россией и Турцией достигнуто новое соглашение. Целью этого соглашения является заморозка боевых действий и поддержание режима прекращения огня в этих районах – зонах деэскалации [Mohamed, Anders, Schneider, 2019].

- Москва, Анкара и Тегеран стали гарантами мирного урегулирования, в рамках которого были достигнуты договорённости о создании зон деэскалации, гуманитарном разминировании и освобождении задержанных. Переговоры способствовали улучшению гуманитарной ситуации и создали условия для возобновления политического процесса, включая формирование Конституционного комитета в 2019 году.

- К концу весны 2020 года горячая фаза боевых действий в Сирии была завершена. Большая часть страны перешла под контроль правительства, в то время как вооружённая оппозиция и террористические группировки удерживали северо-западную провинцию Идлиб, а курдские силы — районы восточного берега Евфрата.

Раздробленность Сирии после свержения Башара Асада открыла новую эру геополитической сложности и нестабильности. Ближний Восток принадлежит к числу наиболее сложных, неоднородных и конфликтных зон современного мира [Douglas, 2024]. В ходе исследования автором были выделены наиболее масштабные исторические события, которые состоялись в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в ходе вооружённого конфликта, повлиявшие на регулирующие экосистемные услуги (рис. 3.14).

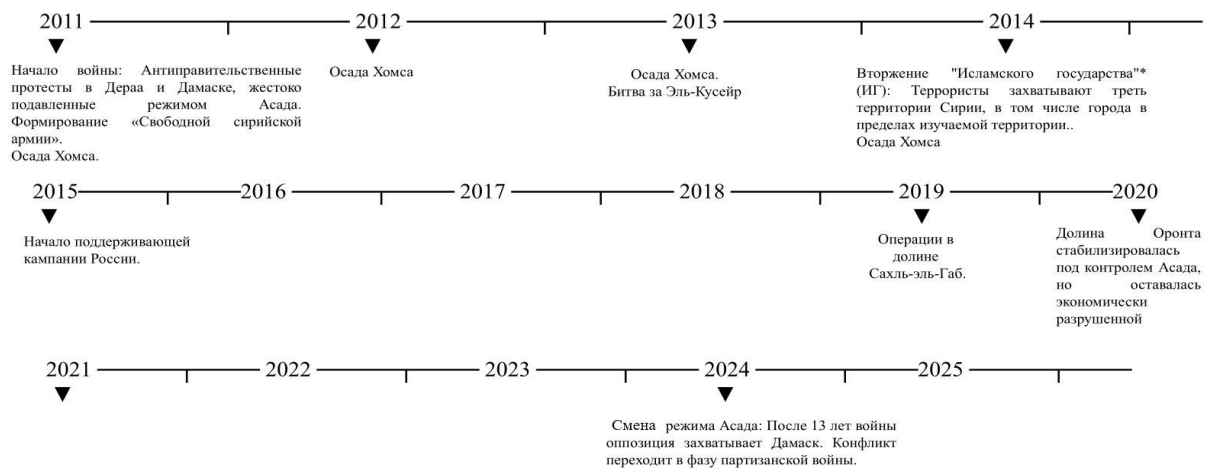
На основе анализа исторических процессов и динамики вооружённого конфликта в Сирийской Арабской Республике в период 1992–2020 годов, автором было выделено три

⁵ - Запрещённая в России террористическая организация.

качественно различных этапа, каждый из которых характеризуется различными социально-экономическими и геополитическими параметрами, а также активностью вооруженного конфликта.

Доконфликтный период (1992–2010) ознаменован относительной стабильностью: после 29-летнего правления Хафеза аль-Асада власть в 2000 году перешла к его сыну Башару аль-Асаду.

Исторические факторы трансформации территории



*Запрещённая в России террористическая организация.

Рис. 3.14 – Исторические факторы трансформации территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

Экономика демонстрировала умеренный рост, опираясь на нефтегазовый сектор и сельское хозяйство, однако структурные проблемы – безработица, коррупция и социальное неравенство – создавали предпосылки для будущей дестабилизации. Религиозно-этнический баланс оставался хрупким, хотя открытых конфликтов не фиксировалось.

Период активного вооруженного конфликта (2011–2016) начался с протестов в рамках «Арабской весны», жестоко подавленных властями. Мартовские выступления 2011 года в Дараа и Дамаске с требованиями демократизации быстро трансформировались в полномасштабную гражданскую войну после создания «Свободной сирийской армии». К 2012 году конфликт приобрел мультиполярный характер: правительственные силы при поддержке Ирана и «Хезболлы» противостояли коалиции повстанцев, включавшей умеренных исламистов и джихадистские группировки. В 2014 году экспансия «Исламского государства»⁶ привела к оккупации до 50% территории Сирии, включая Ракку и Дейр-эз-Зор. Интернационализация

⁶ - Запрещённая в России террористическая организация.

конфликта усилилась после вступления России в 2015 году на стороне Дамаска [Информационное агентство..., 2023], а также формирования США коалиции с курдскими «Сирийскими демократическими силами». Пик потерь пришелся на 2014–2016 годы, когда общее число жертв превысило 400 000, а 11 миллионов человек стали беженцами [Русская служба Би-би-си..., 2023]. Перелом наступил в 2017 году с разгромом ИГ в Ракке и восстановлением контроля правительства над ключевыми городами (Алеппо, Пальмира).

Постконфликтный период (2017–2020) характеризовался фрагментацией страны на зоны влияния [Объяснение «зон деэскалации»..., 2022]. Правительство Асада при российско-иранской поддержке контролировало приблизительно 60% территории, включая Дамаск, Алеппо и коридор к Средиземному морю. Курдские группировки удерживали 25% на северо-востоке с основными нефтяными месторождениями. Турецкие войска и «Сирийская национальная армия» оккупировали анклав на севере. Провинция Идлиб оставалась анклавом джихадистских группировок. Экономика находилась в коллапсе – ВВП сократился на 60%, 90% населения жили за чертой бедности [Новостное интернет-издание..., 2023]. Таким образом, к 2020 году конфликт перешел в «замороженную» фазу, где внешние акторы блокировали как военную победу Дамаска, так и политическую трансформацию, что предопределило длительный кризис государственности.

Динамика наземного покрова бассейна реки Эль-Аси (Оронт). В результате исследования были получены карты пространственной дифференциации динамики типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 1992–2020 гг. (рис.3.15).

Пространственно-временной анализ данных Land Cover CCI (рис. 3.16-3.19) подтвердил выраженную региональную дифференциацию: сирийский сектор испытал масштабную деградацию лесных массивов (уменьшение «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)», «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60 и 70)), трансформацию «Пашня, орошаемая» (класс 20) в «Открытая почва» (класс 200) и «Урбанизированные территории» (класс 190). В контрасте, ливанские и турецкие территории продемонстрировали устойчивость агроландшафтов (класс 10) и естественную регенерацию «Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%)» (класс 100), обеспечивших сохранность ключевых регулирующих экосистемных услуг.

В ходе исследования получены графики изменения типов наземного покрова (рис. 3.16-3.19) в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 1992–2020 гг. Представленная визуализация демонстрирует динамику структуры землепользования, посредством агрегирования данных в категории наземного покрова. Структура природопользования приведена по [Land Cover CCI..., 2017].

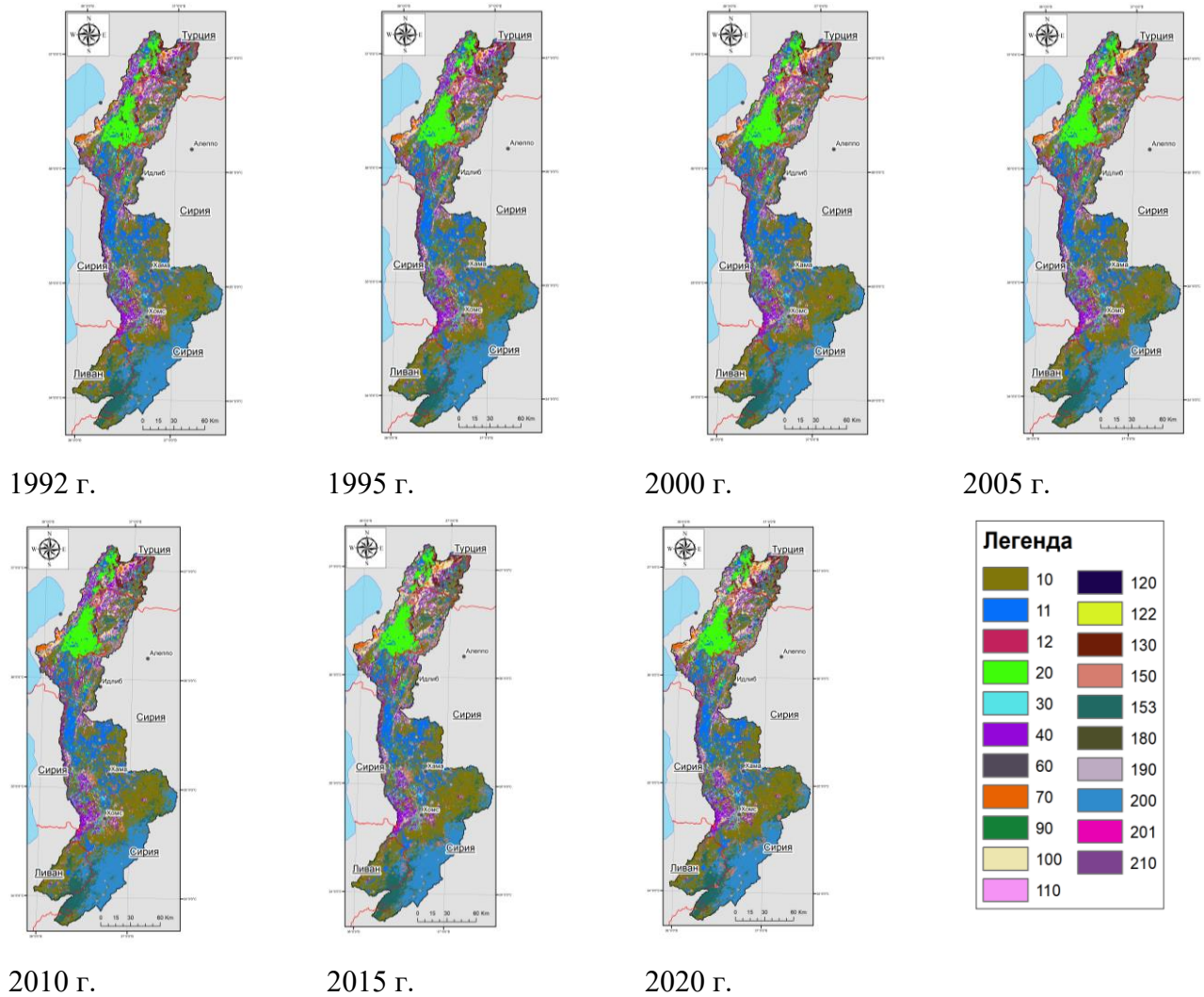


Рис. 3.15 – Пространственное распределение динамики наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 1992-2020 гг.

10 - Пашня, неорошаемая; 11 - Пашня, неорошаемая с травянистым покровом; 12 - Древесный или кустарниковый покров; 20 - Пашня, орошаемая; 30 - Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%); 40 - Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%); 60 - Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%); 70 - Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%); 90 - Лес, смешанный; 100 - Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%); 110 - Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники (<50%); 120 - Кустарники; 122 - Кустарники (лиственные); 130 - Пастбища; 150, 153- Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%); 180 - Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солончатая вода; 190 - Урбанизированные территории; 200 - Открытая почва; 201 - Неуплотненная открытая почва; 210 - Водные объекты. Составлено по материалам [Land Cover CCI..., 2017].

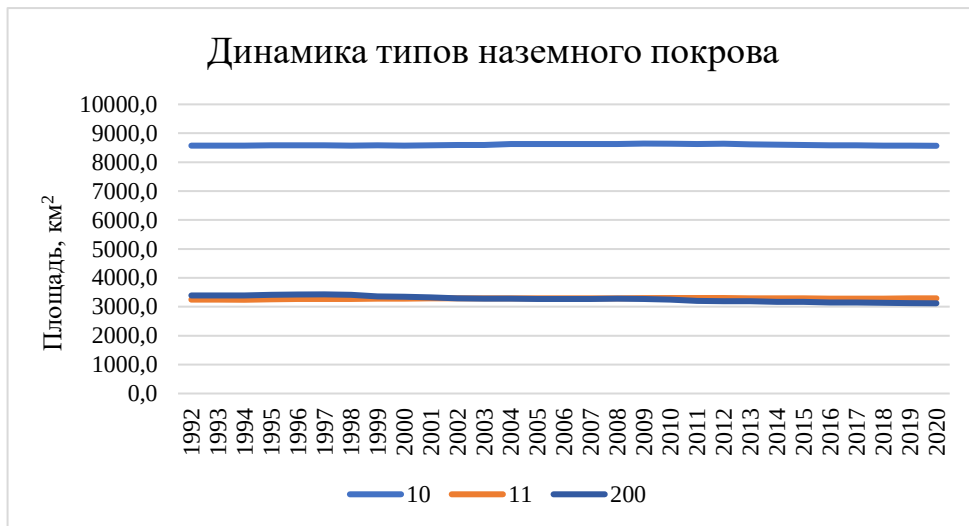


Рис. 3.16 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) – «Пашня, неорошаемая» (класс 10), (класс 11); «Открытая почва» (класс 200).

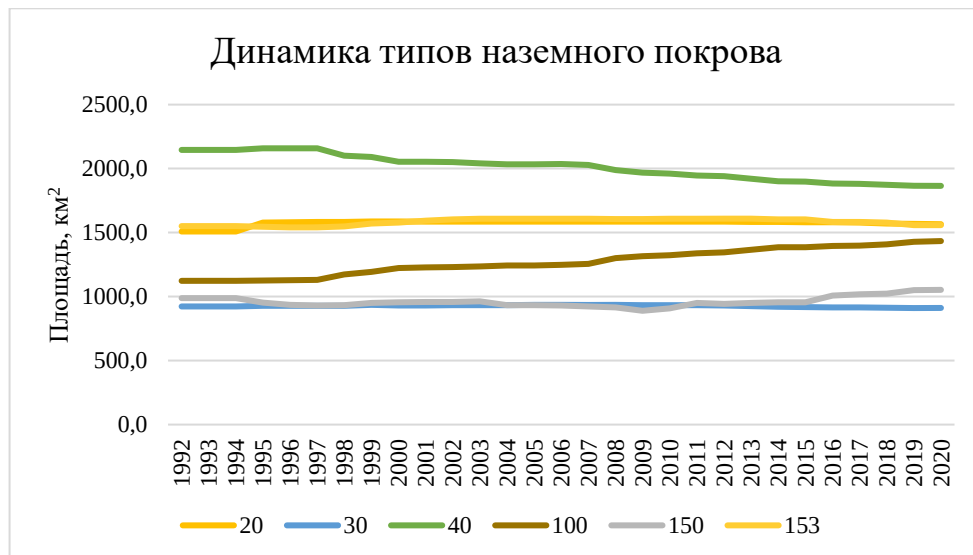


Рис. 3.17 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) – «Пашня, орошаемая» (класс 20); «Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%)» (класс 30); «Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40); «Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%)» (класс 100); «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150); «Разреженный травянистый покров» (класс 153).

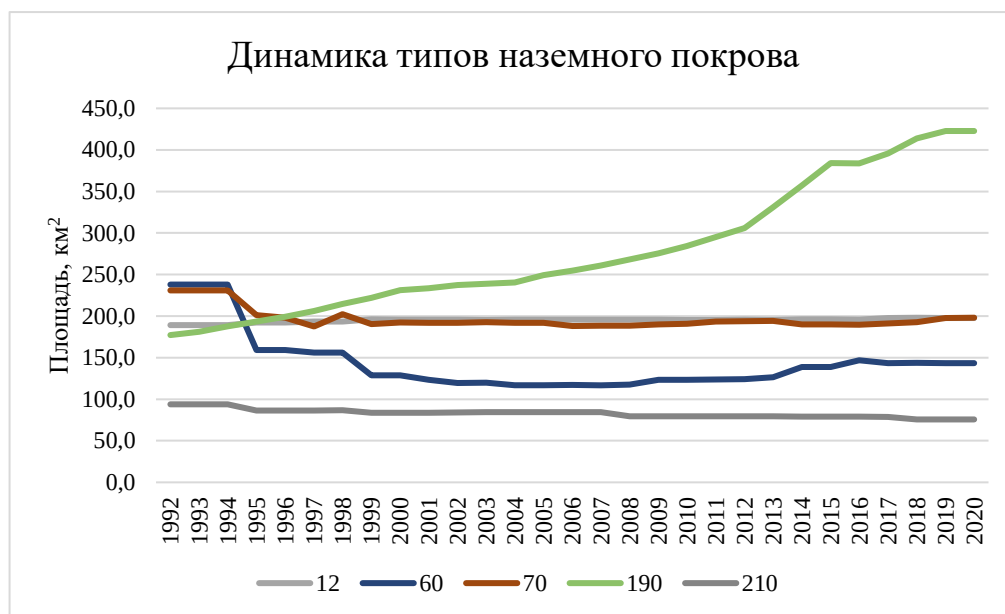


Рис. 3.18 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) – «древесный или кустарниковый покров» (класс 12); «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60); «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70); «Урбанизированные территории» (класс 190); «Водные объекты» (класс 210).

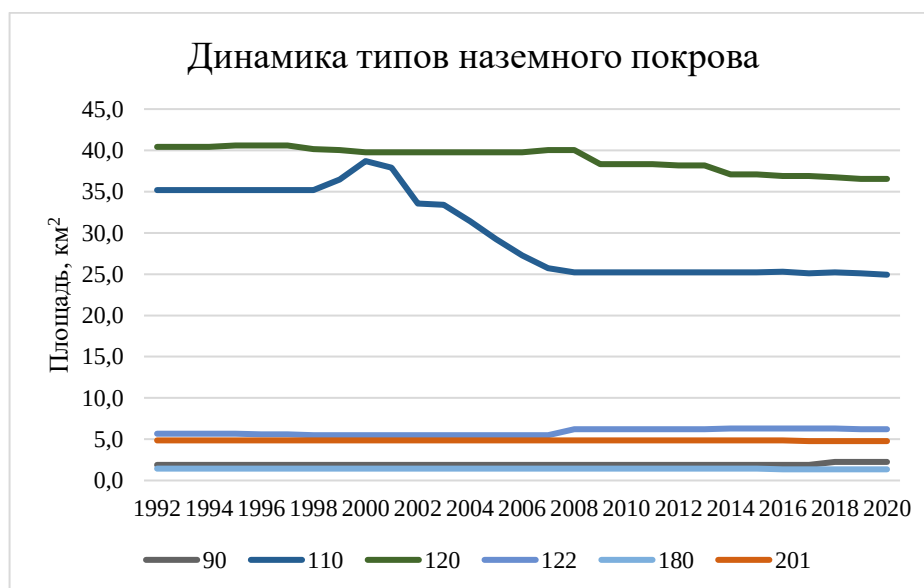


Рис. 3.19 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) – «Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники (<50%)» (класс 110); «Кустарники» (класс 120, класс 122); Консолидированная открытая почва (класс 201); «Лес, смешанный» (класс 90); «Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/солёная/солончатая вода» (класс 180).

За период 1992–2020 гг. в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) выявлены значительные трансформации типов наземного покрова. Анализ данных выявил значительную

пространственно-временную дифференциацию трансформации типов наземного покрова, при этом наиболее выраженные изменения наблюдались у семи классов: «Урбанизированные территории» (класс 190) увеличились на 245.5 км² (+138.5%), «Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%)» (класс 100) увеличился на 310.5 км² (+27.6%), «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70) на 14.2% (с 2566 до 2202 км²), «Кустарники (лиственные)» (класс 122) на 9.5% (с 63 до 69 км²), категория «Лес, смешанный» (класс 90) на протяжении периода держала уровень 21 км² и лишь в 2019 году показала рост до 25 км², на 16%. Также, «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60) уменьшился на 1050 км², что соответствует сокращению на 39.7%, «Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40) уменьшилась на 280.5 км² (-13.1%), класс «Открытая почва» (класс 200), с умеренными темпами сокращения достиг показателя 3057 км², что составляет -8.1%. Изменения зафиксированы для класса «Водные объекты» (класс 210) – площадь акваторий сократилась на 202 км², что в процентном соотношении является самым существенным снижением -19.4%.

Минимальные изменения зафиксированы у классов, изначально занимающих крайне незначительные доли в структуре землепользования бассейна: «Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солончатая вода» (класс 180), «Неуплотненная открытая почва» (класс 201), «Кустарники (лиственные)» (класс 122).

3.3. Физико-географические особенности территории бассейна реки Сунжа

3.3.1. Географическое положение

Основываясь на бассейновом подходе и использовании геоинформационного моделирования (программный комплекс ArcGIS), был разработан подход с использованием редактора моделей ModelBuilder ArcGIS для автоматизации выделения бассейна реки Сунжа. Таким образом был выделен бассейн реки Сунжа, представленный на рисунке 3.20.

Река Сунжа является последним правым и наибольшим притоком р. Терек [Асхабова, Оздыханов, Солтамурадов, 2019] ее длина от истока до устья – 278 км, водосборная площадь – 12200 км² [Схема комплексного использования..., 2014]. Исток р. Сунжа находится в районе Черных гор на водоразделе рек Камбилеевка и Асса в западной части передовых отрогов Лесистого хребта. Река Сунжа имеет сложную гидрографическую сеть, с более чем 6000 малых водотоков в высокогорной зоне. Истоки реки находятся на северном склоне Большого Кавказа, в Грузии. Крупные притоки, такие как Асса, Аргун и Белка, сформировали глубокую эрозионную сеть, прорезающую склоны хребтов.



Рис. 3.20 – Границы бассейна реки Сунжа.

Бассейн охватывает горные районы Восточного Кавказа, включая Центральный и Боковой хребты, водоразделы которых покрыты ледниками, а также равнинную часть Предкавказья. [Схема комплексного использования..., 2014].

Местонахождение бассейна в разных субъектах РФ и даже частично в другом государстве (верховья Ассы и Аргуна – притоков Сунжи – лежат на территории Грузии) требует согласованных мер по адаптации к трансформации водного режима, динамике ландшафтов, использованию земель и условий проживания населения [Ландшафтно-геоэкологический каркас..., 2024].

Выделение водосборного бассейна реки Сунжа выполнено на основе бассейнового подхода с применением геоинформационного моделирования в программе ArcGIS с использованием инструментария ModelBuilder. Границы бассейна реки Сунжа представлены на рисунке 3.21.

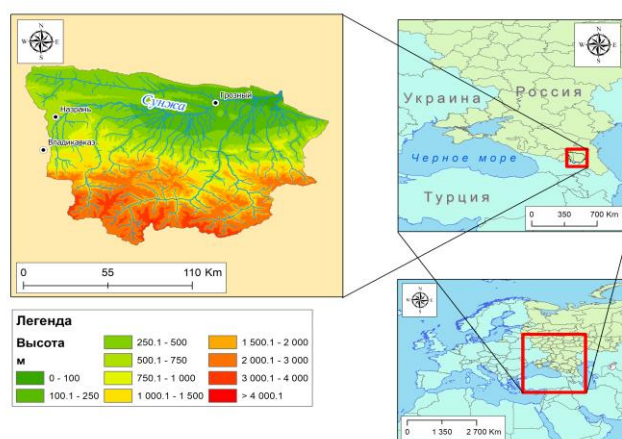


Рис. 3.21 – Бассейн реки Сунжа, Россия.

С точки зрения административного деления, бассейн реки Сунжи (рис.3.22) относится к нескольким субъектам Российской Федерации: Республика Чечня, Республика Северная Осетия-Алания, Республика Ингушетия и Республика Дагестан [Ландшафтно-геоэкологический каркас..., 2024].



Рис. 3.22 – Административно-территориальная структура бассейна реки Сунжа.

В северной части бассейн реки Сунжа охватывает территории, относящиеся к Республикам Северная Осетия-Алания и Ингушетия, где расположены города, населенные пункты Моздок, Малгобек, Беслан, Назрань и Владикавказ. Основная часть бассейна реки располагается на территории Чеченской Республики. Здесь отмечается наибольшая плотность населенных пунктов, среди которых выделяются города Грозный, Аргун, Шали, Гудермес и другие поселения, такие как Ассиновская, Ачхой-Мартан, Самашки, Курчалой и Ножай-Юрт. В южной части бассейн реки затрагивает горные районы, где населенные пункты представлены небольшими селениями, такими как Ведено, Ботлих, и Агвали. Гидрографическая сеть бассейна характеризуется разветвленной структурой, отражая горный и предгорный характер рельефа.

3.3.2. Геологическое строение и рельеф

Бассейн Сунжи представляет собой регион со сложным строением, включающий равнинную (Предкавказье) и горную (Большой Кавказ) части. По физико-географическим условиям равнинная часть бассейна Сунжи относится к Восточному Предкавказью. Среднее Предкавказье входит в степную зону, а Восточное – в полупустынную. Река Сунжа протекает через Скалистый и Сунженский хребет Кавказских гор, а далее через Чеченскую равнину

вытекает в Терско-Кумскую низменность [Ландшафтно-геоэкологический каркас..., 2024]. Скалистый хребет представляет собой хорошо выраженную куэстовую гряду. Он имеет пологий северный склон и обрывистый южный. Основными вершинами Скалистого хребта являются: Зап. Кинжал (2829 м), Каракая (3629 м), Кионхох (3420 м), Хахалги (3031 м) [Схема комплексного использования..., 2014].

Сунженский хребет включает в себя Грозненский и Ермоловский хребты. Эти антиклинальные образования сложены преимущественно глинами и песчаниками с меньшей долей мергелей, известняков, конгломератов и магматических отложений. Севернее находится Чеченская равнина, сложенная плиоценовыми породами (глинами, песчаниками, известняками), которые покрыты мощной толщей четвертичных валунно-галечниковых отложений (конусы выноса рек), поверх лежат лёссовидные глины и суглинки [Схема комплексного использования..., 2014].

Четвертичные отложения играют важную роль в формировании современного рельефа. Они представлены аллювиальными отложениями рек Терек и Сунжа, а также их притоков, образующими широкие террасы и поймы. В составе аллювия преобладают пески, супеси, суглинки, галька [Бацигов, Гумаев, Дамаев, 2024].

Восточная часть Северо-Чеченской низменности представляет собой переходную зону между обширными аллювиальными равнинами и предгорьями Большого Кавказа, характеризующуюся сложной геолого-морфологической организацией и выраженной дифференциацией рельефа. Этот регион, расположенный в пределах Терско-Каспийского прогиба - сложной альпийской структуры, сформировался в результате длительной геодинамической эволюции, включающей многократные трансгрессивно-регрессивные циклы, что привело к накоплению мощных осадочных толщ. Геологическое строение территории представлено мезозойским фундаментом из карбонатно-терригенных пород и кайнозойским осадочным чехлом, включающим палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения. Современный рельеф, отличающийся мозаичностью природных комплексов, сформировался под влиянием неотектонических движений, эрозионно-аккумулятивной деятельности речных систем и климатических факторов, проявляясь в сочетании плоских аллювиальных равнин, холмистых предгорий с развитой овражно-балочной сетью и фрагментов речных долин.

В результате исследования получены карты высоты над уровнем моря, наклона поверхности и экспозиции склонов (рис. 3.23).

Такая сложная геолого-геоморфологическая структура создает уникальные условия для формирования разнообразных природных систем, требующих комплексного изучения в контексте современных ландшафтных и экологических исследований. [Бацигов, Гумаев, Дамаев, 2024].

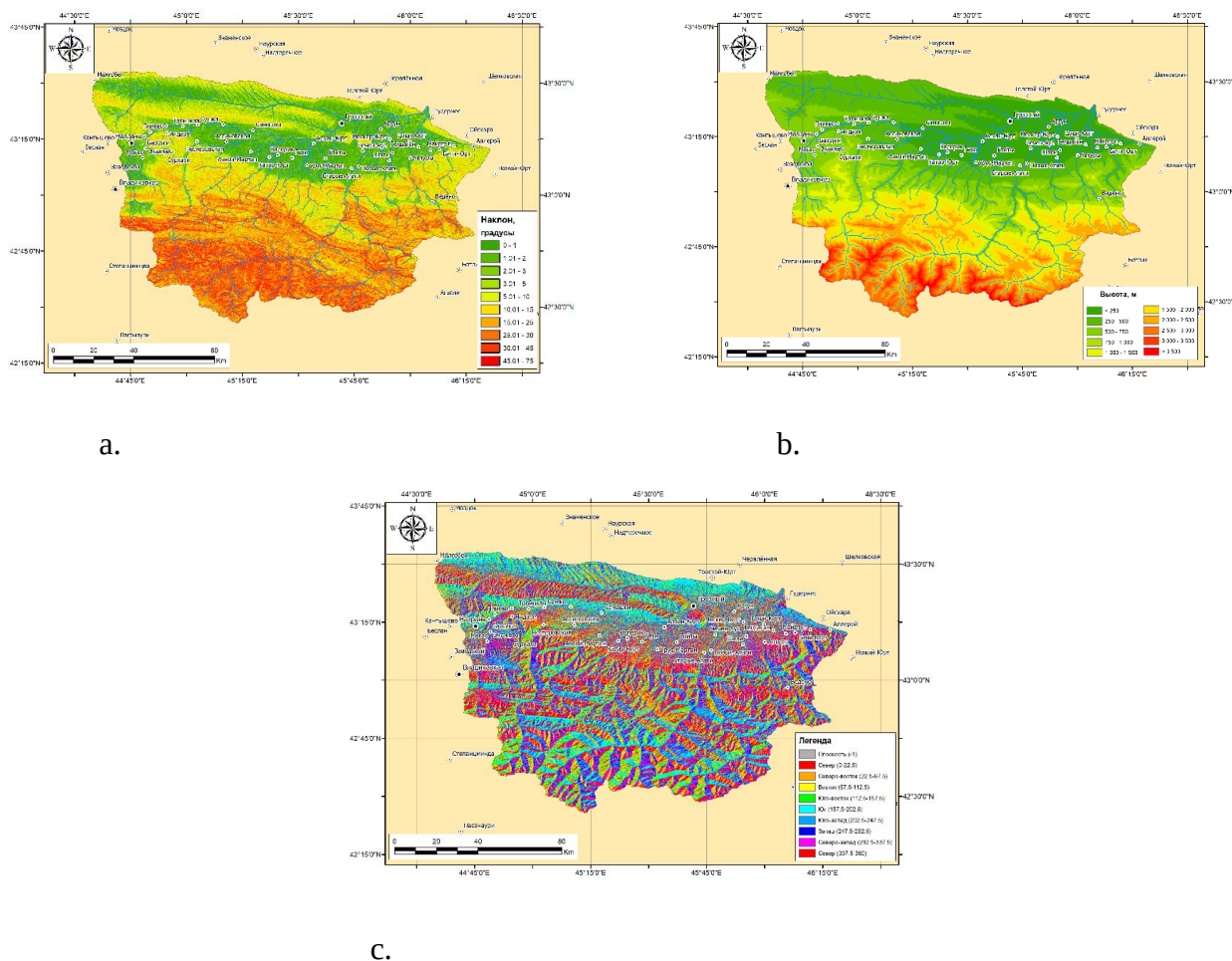


Рис. 3.23 – Морфометрические параметры бассейна реки Сунжа, [Никифорова, Табунщик, 2025].

Бассейн реки Сунжа характеризуется значительным перепадом высот (рис.3.23 а.), равнинная часть - характеризуется минимальными высотами, не превышающими 250 м над уровнем моря. Это часть Терско-Кумской низменности. В предгорной части высоты варьируются от 250 до 1000 м. и представляют собой переходную зону от равнин к горам, где формируются наклонные равнины, предгорные плато и низкогорные хребты. В горной части высоты достигают более 3500 м. и представлены отрогами Большого Кавказа, характеризующимися альпийским рельефом с острыми гребнями, глубокими ущельями и ледниками.

Карта уклона поверхности (рис.3.23 б.) показывает, что в верхней части бассейна преобладает горный рельеф со склонами от 15° до 75° и больше. Это обусловлено тем, что здесь расположены отроги Большого Кавказа, характеризующиеся значительной тектонической активностью и интенсивной эрозией. Наиболее крутые склоны (красные и темно-красные зоны) находятся вблизи водораздельных хребтов и в долинах глубоко врезаемых рек. Средняя часть бассейна характеризуется переходом от горного к предгорному рельефу. Преобладают уклоны

от 5° до 25°, здесь расположены наклонные равнины и террасы, сформированные речными отложениями. В нижней части бассейна преобладает равнинный рельеф с уклонами от 0° до 5°, что относится к Терско-Кумской низменности, которая характеризуется аккумулятивными процессами.

Карта экспозиции склонов (рис.3.23 с.) бассейна реки Сунжа демонстрирует равномерное распределение склонов по всем направлениям, с небольшим преобладанием восточной (67.5–112.5°) и юго-восточной (112.5–157.5°) экспозиций, что связано с тектоническими особенностями региона. Такое распределение указывает на сложный рельеф, сформированный деятельностью реки Сунжа и её притоков, и влияет на дифференциацию микроклимата, увлажнение почв и размещение растительных сообществ [Никифорова, Табунщик, 2025].

На основании исследования были выделены некоторые морфометрические характеристики бассейна реки Сунжа (табл.3.4).

Таблица 3.4 – Некоторые морфометрические характеристики бассейна реки Сунжа, [Никифорова, Табунщик, 2025].

Площадь, км ²	12130.7
Периметр, км	583.8
Наибольшая высота, м	4464
Наименьшая высота, м	27
Средняя высота бассейна реки, м	1037.3
Наибольший наклон поверхности, градусы	79.1
Средний наклон поверхности, градусы	13
Изрезанность очертаний водораздельной линии бассейна (Коэффициент округлости)	1.50
Длина основного водотока, км	197.9
Параметр формы бассейна	3.2
Коэффициент формы	0.31
Длина речного бассейна, км	133.2
Средний уклон бассейна реки, м/км	9.4
Средняя ширина бассейна, км	91.1

Бассейн реки Сунжа характеризуется значительной морфометрической неоднородностью, что обусловлено сложным орографическим строением и выраженной

высотной дифференциацией. Площадь водосбора составляет 12130,7 км², при периметре 583,8 км, что свидетельствует о сравнительно вытянутой форме, подтверждаемой коэффициентом формы (0,31) и параметром формы бассейна (3,2). Значительная амплитуда высот (от 27 до 4464 м) и средняя высота бассейна (1037,3 м) указывают на преобладание горного рельефа, что также отражается в высоких значениях максимального (79,1°) и среднего (13°) наклонов поверхности. Гидрографическая сеть бассейна отличается умеренной изрезанностью (коэффициент округлости 1,50), а средний уклон реки (9,4 м/км) и длина основного водотока (197,9 км) определяют высокую энергетическую потенциальность потока, что способствует интенсивным эрозионным процессам.

3.3.3. Климат

В бассейне реки Сунжа, четко прослеживаются закономерности широтной зональности и высотной поясности, а также все переходные типы климата от сухих, жарких и вечных снегов нивальной зоны [Мацаев, 2012]. Среди множества климатических параметров наибольшее влияние на ландшафт оказывают тепло- и влагообеспеченность [Оценка геоэкологических последствий..., 2010]. Климат бассейна реки Сунжа определяется влиянием Черного, Азовского и Каспийского морей, разнообразием рельефа и восточно-европейскими и азиатскими воздушными массами. Характерны холодные сухие зимы (средняя температура января -3,2°С, в горах до -10°С) и жаркое сухое лето (в среднем +20,4°С, в горах до +14°С). Количество осадков за год уменьшается с юга на север и с запада на восток. В Восточном Предкавказье количество их составляет до 400-600 мм. В горах количество осадков возрастает в основном до 800-900 мм, достигая в некоторых пунктах 1000-1300 мм и более [Мацаев, 2012].

В работе [Заурбеков, Бекмурзаева, Братков, 2016] представлен анализ температурного режима, который показал, что за 1965-2015 гг. на всей территории Чеченской Республики отмечено увеличение приземной температуры воздуха по сравнению с предыдущим периодом (1931-1961). В пустынных и полупустынных ландшафтах температура воздуха выросла на 0,4°С, в степных и горно-котловинных кустарниково-степных -на 0,3°С.

Установлено, что в последние десятилетия климатические тенденции включают смягчение зимних температур, приводящее к отсутствию устойчивого ледостава на реке, что контрастирует с историческими данными XIX века, когда Сунжа полностью замерзала. Кроме того, наблюдается рост частоты экстремальных паводков, усиленных сочетанием природных факторов (интенсивные осадки) и антропогенных нарушений: деградация растительного покрова, эрозия почв, а также последствия вооруженных конфликтов, выражающиеся в накоплении техногенных залежей нефтепродуктов (до 1 млн тонн в 1990-х гг.) вдоль берегов.

Эти факторы снижают инфильтрационную емкость ландшафтов, увеличивая поверхностный сток и мутность реки (средний показатель – 3800 г/м³), что негативно влияет на водорегулирующие и фильтрационные экосистемные услуги бассейна [Река Сунжа: гидробиология..., 2008].

В ходе исследования была проанализирована пространственно-временная динамика ключевых климатических параметров в бассейне реки Сунжа. В результате исследования был получен график изменения температурного режима в бассейне реки Сунжа (рис.3.24).

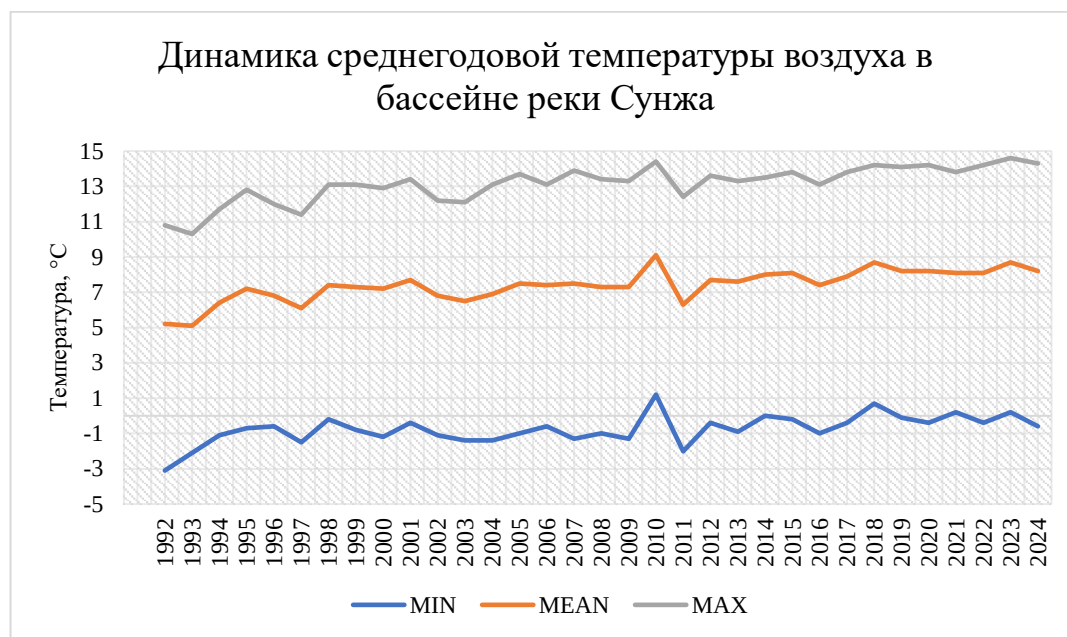


Рис. 3.24 – Динамика среднегодовой температуры воздуха, в пределах бассейна реки Сунжа, °C.

Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха в бассейне реки Сунжа выявил устойчивую тенденцию к потеплению, характеризующуюся ростом средних многолетних значений (MEAN) на 1.2-1.5°C за период наблюдений, при этом максимальные показатели (MAX) демонстрируют более выраженный рост (до 2.0°C), особенно заметный после 2005 года, что свидетельствует об усилении экстремальности температурного режима; минимальные значения (MIN) также повысились, но в меньшей степени (0.8-1.0°C), что привело к сокращению амплитуды годовых колебаний температуры на 15-20% и указывает на смягчение зимних периодов; особого внимания заслуживает ускорение темпов потепления в последнее десятилетие (2010-2020 гг.), когда среднегодовая температура превысила климатическую норму на 1.3-1.7°C, что коррелирует с общерегиональными климатическими изменениями на Северном Кавказе.

В ходе исследования была получена карта (рис.3.25) средних многолетних температур бассейна реки Сунжа.

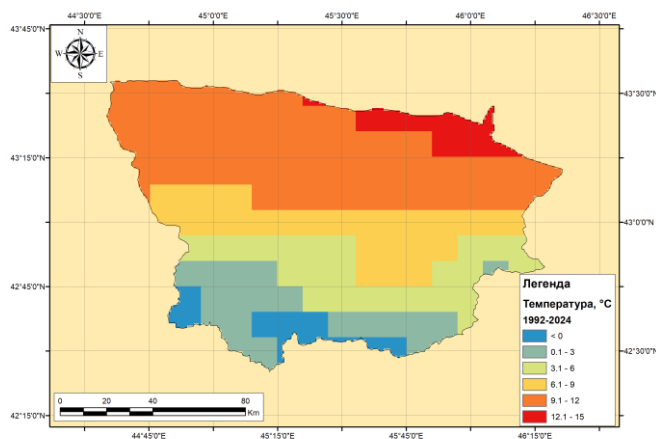


Рис. 3.25 – Средние многолетние температуры на территории бассейна реки Сунжа в период 1992-2024 гг.

Пространственное распределение среднегодовой температуры воздуха в бассейне реки Сунжа за период 1992–2024 гг. демонстрирует высотную зональность и различия между равнинными и горными территориями. Наибольшие температурные показатели (свыше 12°C) характерны для низменных участков Чеченской Республики в нижнем течении реки, особенно в районе Чеченской (Грозненской) равнины, где отмечается влияние умеренно-континентального климата с мягкими зимами. В горных районах Ингушетии (верхнее течение Сунжи) преобладают температуры 3–6°C, что обусловлено высотной поясностью и орографическим эффектом Скалистого хребта. Переходная зона со значениями 6–9°C прослеживается в предгорьях, включая Алханчуртскую долину. Сравнительный анализ выявил устойчивое смещение изотерм вверх по склонам на 50–80 м за десятилетие, особенно заметное после 2010 года, что привело к сокращению площади участков с температурами менее 3°C в высокогорьях на 15–20% и расширению зоны 9–12°C в предгорных районах Чечни. Эти изменения коррелируют с общерегиональными климатическими трендами на Северном Кавказе, включая повышение зимних температур и сокращение продолжительности снежного покрова в горных районах Ингушетии, что подтверждается данными Росгидромета [Состояния и загрязнения..., 2025]. В Чеченской Республике потепление сопровождается увеличением повторяемости температурных максимумов, особенно в агропромышленных районах (Гудермес, Шали), где рост среднегодовых значений достиг 1.2–1.5°C за последние 20 лет.

В результате проведённого исследования созданы карты (рис.3.26) пространственного распределения среднегодовой температуры воздуха на территории бассейна реки Сунжа с 1992 по 2020 гг., отражающие трансформацию температурного режима.

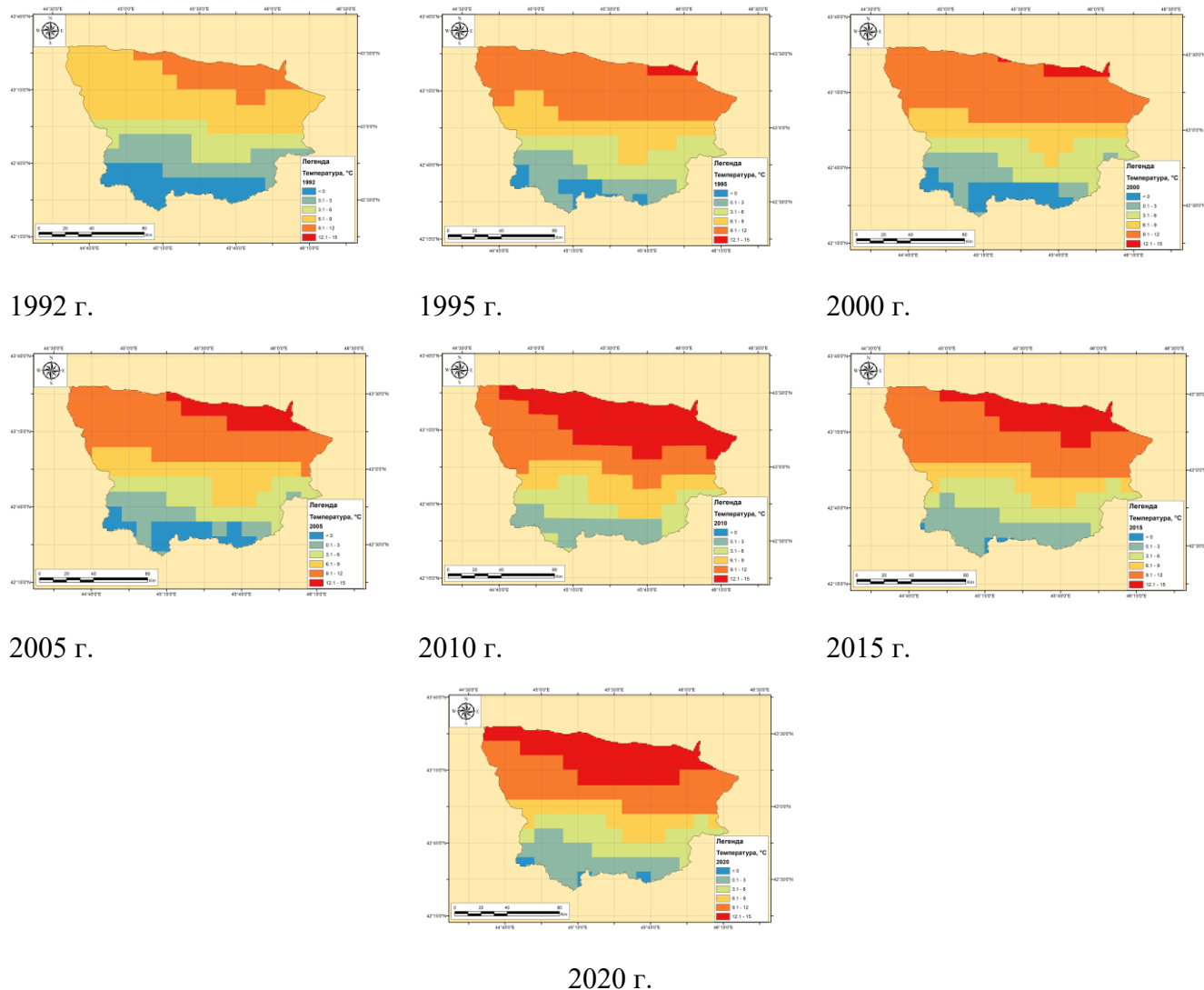


Рис. 3.26 – Среднегодовые температуры воздуха на территории бассейна реки Сунжа за период 1992 по 2020 гг.

Пространственный анализ среднегодовых температур воздуха в бассейне реки Сунжа за период 1992–2020 гг. выявил выраженную динамику термического режима с устойчивой тенденцией к потеплению, особенно заметной после 2000 года. В 1992 г. температурное поле характеризовалось резким контрастом между горными и равнинными районами: в высокогорьях Ингушетии преобладали отрицательные значения (менее -3°C), тогда как в низменностях Чечни фиксировались положительные температуры ($6-9^{\circ}\text{C}$). К 1995 г. произошло смещение изотерм вверх по склонам, сократившее площадь участков с отрицательными температурами на 15-20%, при этом в предгорьях сформировалась устойчивая зона с

показателями 9-12°C. В период 2000-2010 гг. продолжилось интенсивное потепление: полностью исчезли участки с температурами менее -3°C, а в горных районах увеличилась площадь зон с положительными значениями (3-6°C), что связано с уменьшением продолжительности снежного покрова. Наиболее значительные изменения произошли после 2010 г., когда в низовьях Сунжи (Чеченская Республика) сформировалась обширная область с температурами выше 12°C, расширившаяся к 2020 г. на 30% по сравнению с 1990-ми годами. В горных районах Ингушетии к 2020 г. сократилась площадь территорий с температурами 0-3°C (на 25%), тогда как зона 6-9°C продвинулась вверх по склонам на 100-150 м. Пространственная дифференциация температур между равнинными и горными территориями уменьшилась с 12-15°C в 1992 г. до 9-11°C в 2020 г., что свидетельствует о более интенсивном потеплении в высокогорьях.

В результате исследования был получен график изменения количества осадков в бассейне реки Сунжа (рис.3.27).

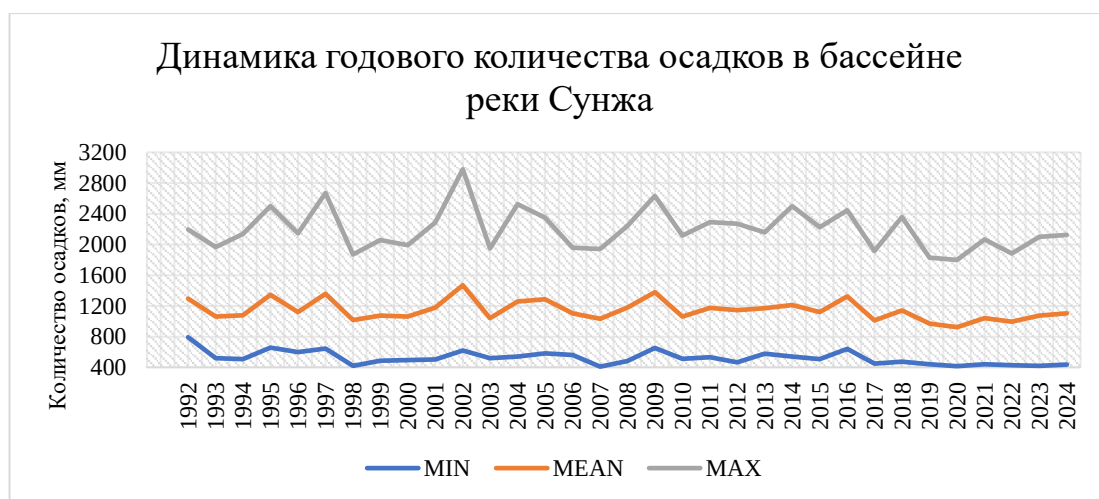


Рис. 3.27 – Динамика годового количества осадков, в пределах бассейна реки Сунжа, мм.

Анализ динамики средних многолетних значений годового количества осадков в бассейне реки Сунжа за период 1992–2024 гг. выявил выраженную изменчивость увлажнения с признаками цикличности и региональной спецификой. Среднегодовые показатели (MEAN) демонстрируют колебания в диапазоне 1200–1600 мм, с заметным снижением на 10–15% в засушливые периоды (1998–2002 и 2010–2014 гг.) и резким увеличением до 2000–2400 мм во влажные фазы (2005–2009 и 2018–2021 гг.). Минимальные значения (MIN) осадков, достигавшие 800–1000 мм в экстремально засушливые годы (1994, 2010), характеризуются возрастающей частотой повторяемости в последнее десятилетие, тогда как максимальные показатели (MAX) сохраняют стабильность на уровне 2800–3200 мм, что подчеркивает усиление контрастности увлажнения. Стоит отметить тренд к смещению пиков осадков на

весенне-осенний период, сопровождающийся сокращением зимнего снежного покрова в горных районах на 20–25%, что подтверждается данными Росгидромета [Состояния и загрязнения..., 2025] о изменении сезонного распределения осадков на Северном Кавказе (рис.3.28).

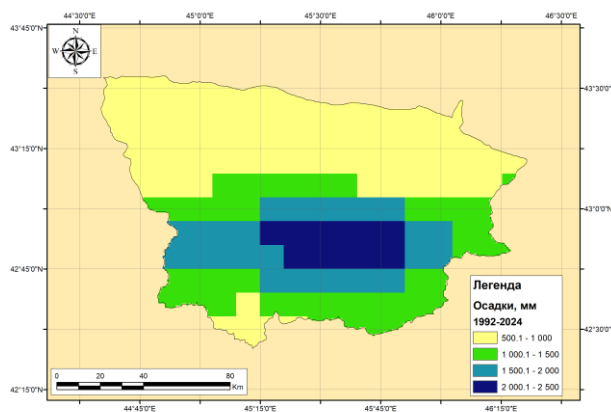


Рис. 3.28 – Средние многолетние значения количества осадков на территории бассейна реки Сунжа, 1992-2024 гг.

Анализ пространственного распределения средних многолетних значений количества осадков в бассейне реки Сунжа за период 1992-2024 гг. выявил орографическую зависимость с динамикой уменьшения осадков с запада на восток, где наветренные склоны Скалистого хребта в Ингушетии получают до 1200-1600 мм/год, что в 2-3 раза превышает показатели равнинных районов Чечни (400-600 мм/год), при этом максимальные значения (до 2000-2400 мм/год) зафиксированы в высокогорных районах Джейрахского ущелья, где проявляется эффект орографического подъёма влажных воздушных масс, тогда как минимальные показатели (менее 400 мм/год) характерны для засушливых территорий Надтеречного района Чечни, что соответствует закономерностям распределения осадков на Северном Кавказе, при этом пространственная структура сохраняет устойчивость на протяжении всего исследуемого периода, несмотря на наблюдаемую межгодовую изменчивость (рис.3.29).

Пространственный анализ распределения годового количества осадков в бассейне реки Сунжа за период 1992-2020 гг. выявил, что максимальные значения осадков (более 2000 мм/год в 1992-2015 гг. и свыше 1500 мм/год в 2020 г.) наблюдались в высокогорных районах Джейрахского ущелья Ингушетии, что обусловлено эффектом орографического подъёма влажных воздушных масс, тогда как минимальные показатели (менее 1000 мм/год в 1990-х и ниже 500 мм/год к 2020 г.) характерны для засушливых равнинных территорий Чеченской Республики, особенно в Надтеречном районе. Сравнительный анализ карт выявил значительную межгодовую изменчивость: если в 1992-1995 гг. чётко прослеживалась зона обильных осадков (1500-2000 мм) вдоль всего Скалистого хребта, то к 2000 и 2020 гг. произошло её фрагментирование и сокращение площади на 25-30%, при этом в 2005-2015 гг.

отмечалось временное восстановление режима увлажнения, близкого к 1990-м годам. Особого внимания заслуживает смещение границы зоны 1000-1500 мм/год в восточном направлении на 15-20 км к 2020 г., что свидетельствует об изменении атмосферной циркуляции и уменьшении влияния влажных черноморских воздушных масс.

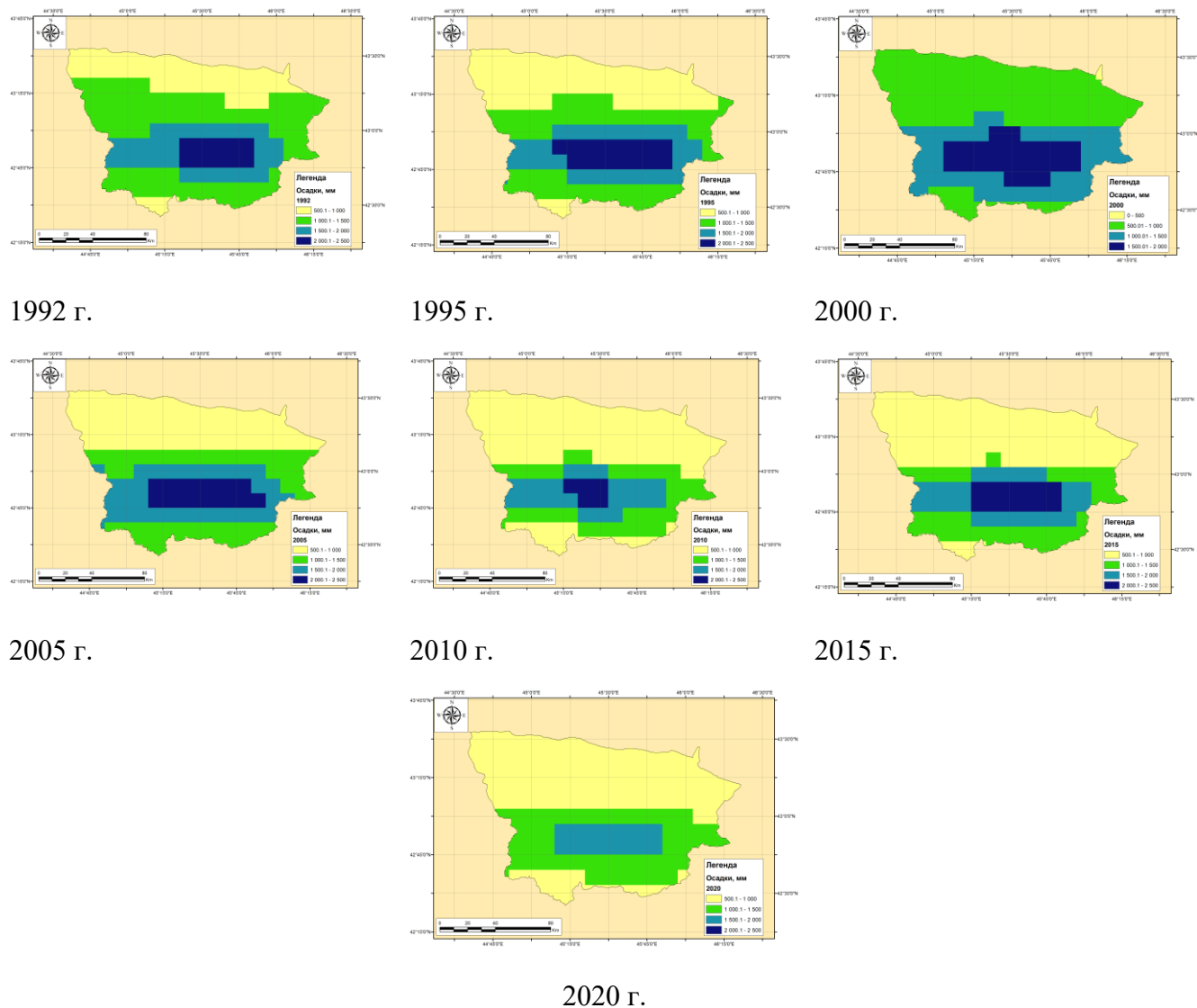


Рис. 3.29 – Значения годового количества осадков на территории бассейна реки Сунжа за период 1992 по 2020 гг.

Пространственная дифференциация осадков между горными и равнинными районами увеличилась с 1500-1800 мм в 1992 г. до 2000-2200 мм к 2020 г., что согласуется с общерегиональными климатическими трендами на Северном Кавказе [Состояния и загрязнения..., 2025].

Проведённый анализ выявил устойчивое повышение среднегодовой температуры в бассейне реки Сунжа на 1.2–1.5°C (1992–2024 гг.) с усилением экстремальности (рост

максимумов до $+2.0^{\circ}\text{C}$), сокращением годовой амплитуды на 15–20% и пространственными сдвигами (сокращение зон $<3^{\circ}\text{C}$ в горах Ингушетии на 15–20%, расширение области $>12^{\circ}\text{C}$ в Чечне на 30%), при этом осадки демонстрируют цикличность (среднегодовые 1200–1600 мм) с усилением контрастности (учащение минимумов до 800–1000 мм, сохранение максимумов 2800–3200 мм), сезонным смещением пиков (сокращение зимнего снега на 20–25%) и ростом орографического градиента (разница осадков между горами и равнинами увеличилась с 1500–1800 мм до 2000–2200 мм).

3.3.4. Поверхностные воды

Река Сунжа является одной из наиболее крупных рек Чеченской Республики [Схема комплексного использования..., 2014]. Большую роль в питании реки играют ледники и высокогорные снега – ниже впадения Ассы, до впадения Ассы река питается из родников. Водный режим характеризуется резкими дождевыми паводками в летний период.

Сунжа и ее притоки в верховье питаются родниками, грунтовыми водами и атмосферными осадками. Она течет по пониженной части Сунженской долины, сложенной на большую глубину аллювиальными и делювиальными отложениями. Мощный слой валунно-галечного материала обуславливает в сухие годы переход поверхностного стока в подрусловый, с выходом на дневную поверхность далеко за пределами от своего начала. Многочисленные балки, впадающие в р. Сунжа слева и справа на участке селений Комгарон и Сунжа, постоянного стока не имеют. Только при выпадении дождя или таяния снега образуется сток воды в балках Широкая, Угольная, Черная, Белая речка и других.

На участке от г. Карабулак до г. Грозный р. Сунжа принимает ряд притоков, из которых наибольшими являются: Асса, Фортанга, Шалажа, Гехи, Мартан, Гойта. На протяжении от г. Грозный до железнодорожного моста, пересекающего реку Сунжа ниже г. Гудермес, в нее впадает ряд притоков, из которых наибольшими являются реки Аргун и Белка с притоками Гумс и Хулхулау. На протяжении остальных 20 км р. Сунжа притоков не имеет [Мониторинг экологического состояния..., 2012].

Река Аргун, самый крупный приток реки Сунжа, образуется у села Дачу-Борзой от слияния двух рек: Чанты-Аргун и Шаро-Аргун. Аргун является правым притоком Сунжи, берет начало на Главном Кавказском хребте с ледника, под названием Качу. Образовалась в результате слияния двух рек – Шаро-Аргун и Чанты-Аргун. Река имеет внушительные размеры: длина – около 150 км, площадь бассейна – 3390 км^2 , средний расход воды составляет – $45,6 \text{ м}^3/\text{с}$. Имеет смешанное питание, не замерзает. Обладает значительными запасами водной энергией. Водные ресурсы реки Аргуна имеют большое хозяйственное значение, как источники

орошения и обводнения сельскохозяйственных земель, особенно в засушливых районах республики. Аргунская вода направляется по каналам для орошения в реки Басс, Джалка и другие. Основными источниками загрязнения водных объектов бассейна реки являются поверхностные смывы и диффузное загрязнение. Воды реки используют на орошение земель сельскохозяйственного назначения [Ахмиева, Гаджиев, 2024].

Река Джалка (в верхнем течении река Басс) – правый приток Сунжи. Длина реки – 77 км, площадь бассейна – 550 км². Высота истока – 1918 м над уровнем моря. Высота устья – 1 м над уровнем моря. Уклон реки 24,0 м/км. Джалка относится к рекам, истоки которых начинаются с родников. Питание дождевое, лишённое летнего половодья. Паводки наблюдаются во время летних ливней, причем уровень воды быстро падает после ливня. Зимой расход воды резко уменьшается, так как питание реки поддерживается главным образом подземными водами. В летний период половодья не бывает. Соответственно, река Басс относится к категории «чистые», что отвечает требованиям водоемов рыбохозяйственного назначения. В горной части, учитывая и низкие температуры реки не промерзают, по причине перепада высот увеличивается скорость течения реки. Там, где уклон маленький, река может промерзать частично, но уже в нижнем течении. Из рек района промерзает только река Джалка у селения Герменчук [Ахмиева, Гаджиев, 2024].

На Терско-Сунженской возвышенности приурочен целый ряд месторождений термальных сероводородных вод, ценных в бальнеологическом отношении. К ним относятся серноводские, ачалукские, горячеводские, брагунские и нстисуйские источники. Эксплуатационные запасы пресных подземных вод составляет 236,5 млн м³, ежегодно извлекается 84,1 млн. м³ (35,5%). [Гумаев, Бацигов, Яумиева, 2024].

3.3.5. Почвы

Бассейн реки Сунжа характеризуется разнообразием почвенных типов, обусловленных сочетанием геоморфологических, климатических и антропогенных факторов. В северной части бассейна, относящейся к Терско-Кумской низменности, преобладают каштановые почвы, формирующиеся в условиях засушливого умеренно-континентального климата с годовым количеством осадков около 300 мм. Эти почвы отличаются маломощным гумусовым горизонтом (0,3–1,5%) и высоким содержанием карбонатов, что связано с активными процессами соленакопления и ветровой эрозии.

В средней части бассейна, охватывающей Чеченскую равнину и Терско-Сунженскую возвышенность, доминируют лугово-чернозёмные почвы, сформированные на аллювиальных отложениях. Они характеризуются повышенным плодородием за счет мощного гумусового

слоя (до 4–6%) и благоприятными агрофизическими свойствами, что способствует их активному использованию в сельском хозяйстве. В долинах рек, включая Сунжу, распространены болотно-луговые почвы, обогащенные органическим веществом в условиях периодического переувлажнения.

Горные районы южной части бассейна, где Сунжа берёт начало на склонах Главного Кавказского хребта, представлены горно-лесными и горно-луговыми почвами. Горно-лесные почвы, формирующиеся под широколиственными лесами (бук, дуб), отличаются кислой реакцией среды и высоким содержанием гумуса (до 10–12%) в верхних горизонтах. Горно-луговые почвы альпийского пояса характеризуются маломощным профилем и высокой каменистостью, что ограничивает их сельскохозяйственное использование.

Почвенный покров в бассейне реки Сунжа был изучен в рамках полевых экспедиционных исследований (август – сентябрь 2024 года) в ходе проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки». В период работы экспедиции было изучено 44 точки (рис. 3.30), расположенных по всему бассейну. На каждой точке было проведено описание ландшафтных условий, заложен почвенный профиль, отобраны образцы почвы из каждого почвенного горизонта (рис. 3.31) для проведения химических анализов.

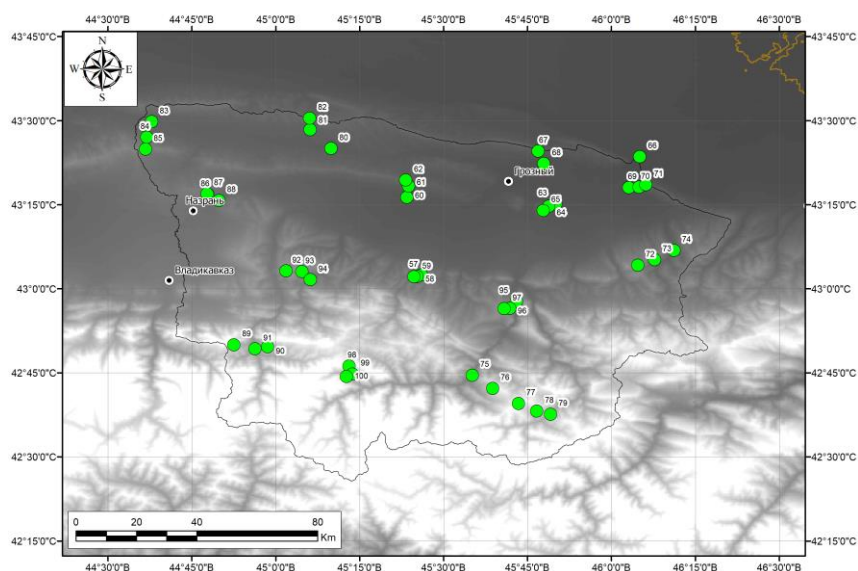


Рис. 3.30 – Точки отбора проб почв и растительности на реке Сунжа.

В ходе экспедиционных исследований бассейна реки Сунжа (август–сентябрь 2024 г.) были выявлены наиболее распространенные типы почв: бурые горно-лесные почвы, формирующиеся на склонах Большого Кавказского, Лесистого и Скалистого хребтов под

буково-грабовыми и дубово-грабовыми лесами. Эти почвы развиты на элювии и делювии глинистых сланцев, известняков и песчаников в высотном диапазоне 400–800 м, характеризуются комковато-зернистой структурой и высокой гумусированностью горизонта А.

В пойме реки Сунжа доминируют аллювиальные почвы, сформированные на галечниках и песчано-глинистых отложениях. Они отличаются слоистостью профиля, рыхлой структурой и антропогенной трансформацией (например, вблизи с. Плиево). На надпойменных террасах распространены чернозёмные лугово-степные почвы с мощным гумусовым горизонтом, развитые на неоген-четвертичных глинах.

В высокогорьях (выше 2000 м) преобладают горно-луговые почвы, формирующиеся под альпийскими лугами на делювии глинистых сланцев. Для них характерна маломощность профиля (до 30 см), высокая щебнистость и интенсивная гумификация. На склонах Терского и Сунженского хребтов широко представлены чернозёмы карбонатные и выщелоченные, связанные со степной растительностью и развитые на миоцен-плиоценовых глинах.



Почвенный профиль
бурых горно-лесных
почв в бассейне реки
Сунжа (Окрестности
села Рошни-Чу, в Урус-
Мартановском районе,
43°2.224'N 45°25.231'E).

Почвенный профиль
аллювиальных почв в
бассейне реки Сунжа
(Склон левого борта р.
Аргун, 43°15.195'N
45°50.032'E).

Почвенный
профиль
чернозёмных
лугово-степных
почв в бассейне
реки Сунжа
(Сундженский
хребет,
43°25.071'N
45°09.843'E)

Почвенный профиль
горно-луговых почв в
бассейне реки Сунжа
(Склон восточной
экспозиции
Пастбищного хребта,
42°38.176'N
45°46.606'E).

Рис. 3.31 – Почвенные профили в бассейне реки Сунжа описанные в рамках проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки».

Особый интерес представляют горно-лесные почвы, встречающиеся на склонах Сунженского хребта под смешанными лесами. Они сочетают признаки лесных и степных почв, что отражает переходный характер этой зоны. Антропогенное воздействие (выпас, эрозия) наиболее выражено в предгорьях, где отмечается деградация почвенного покрова. Полученные данные подчёркивают тесную связь между геологическим субстратом, рельефом и почвообразованием в условиях интенсивного хозяйственного использования территории.

Мощность гумусового горизонта является ключевым индикатором услуг почв по поддержанию биохимического потенциала и плодородия. На основе проведенного пространственного анализа распределения мощности гумусового горизонта в бассейне реки Сунжа выявлена пространственная неоднородность данного показателя, что отражает дифференциацию условий почвообразования на исследуемой территории (рис.3.32).

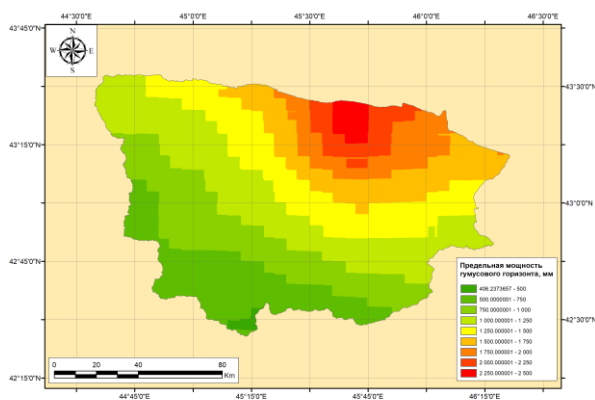


Рис. 3.32 – Предельная мощность гумусового горизонта в бассейне реки Эль-Аси (Оронт).

Наибольшие мощности гумусового горизонта приурочены к пойменным и равнинным ландшафтам с благоприятными условиями для аккумуляции органического вещества. Участки со средними значениями занимают склоновые территории с развитыми зональными типами почв. Минимальные значения характерны для горных территорий.

По модели RUSLE для бассейна реки Сунжа получены данные, представленные на рисунке 3.33, которые отражают потенциальную эрозию.

Потенциальная потеря почв в бассейне реки Сунжа характеризуется значительной пространственной неоднородностью, тесно связанной с особенностями рельефа территории. Наиболее интенсивные процессы эрозии наблюдаются в южной части бассейна, где рельеф представлен крутыми склонами и горными массивами, что способствует ускоренному смыванию почвенного покрова. Здесь потери почвы достигают максимальных значений, превышая 100 т/га\год, что обусловлено высокой крутизной склонов и большим углом наклона,

а также интенсивностью атмосферных осадков, способствующих поверхностному стоку и эрозионным процессам.

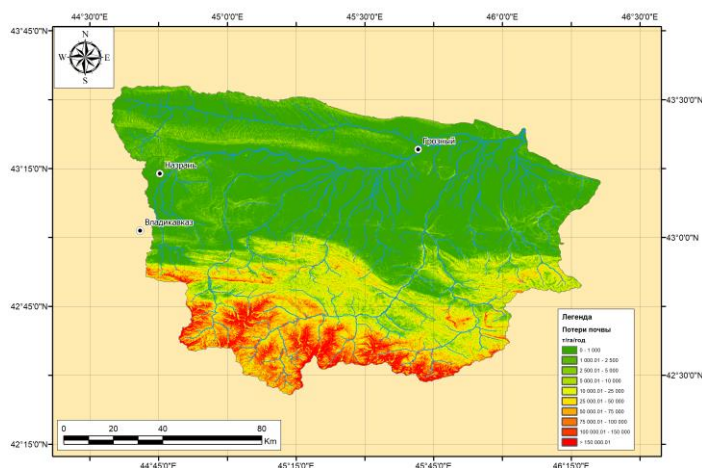


Рис. 3.33 – Потенциальные потери почв в бассейне реки Сунжа.

В центральной зоне бассейна, где рельеф более пологий и представлен холмисто-равнинными формами, интенсивность эрозии существенно снижается, что отражается в уменьшении величин потерь почвы до диапазона 5-25 тонн на гектар в год. Северная часть бассейна, характеризующаяся равнинным рельефом с минимальными уклонами, демонстрирует наименьшую динамику эрозионных процессов, с потерями почвы менее 1 т/га/год.

Данные о распределении площадей в бассейне реки Сунжа представлен в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Процентное соотношение эрозии (т/га/год) бассейна реки Сунжа

Потери почвы (эрозия) (т/га/год)	км ²	%
до 1000	299,3	2,4
1000-2500	1211,3	9,8
2500-5000	723,7	5,9
5000-10000	722,9	5,9
10000-25000	7205,0	58,3
25000-50000	898,2	7,3
50000-75000	458,5	3,7
75000-100000	261,8	2,1
100000-150000	251,2	2,0
> 150000	323,2	2,6

Доминирующей является категория с высокими потерями от 10 000 до 25 000 т/га/год, охватывающая более половины площади водосбора (58%). Это указывает на то, что большая часть бассейна характеризуется интенсивными процессами денудации, что обусловлено сочетанием природных факторов (крутизна склонов, эродруемость почв и пород, ливневый характер осадков) и антропогенного воздействия (распашка склонов, перевыпас, сокращение площади естественной растительности).

Суммарно доля территорий с очень высоким и экстремальным уровнем потерь (свыше 25 000 т/га/год) составляет 18%, что является чрезвычайно тревожным показателем. Особое внимание привлекает наличие 2,6% площади с катастрофическими потерями, превышающими 150 000 т/га/год. Такие значения свидетельствуют не просто о потере плодородия, а о полном и быстром уничтожении почвенного покрова и активном разрушении подстилающих пород, что приводит к образованию оврагов, оползней и других форм ускоренной эрозии.

Для сравнения, территории с умеренным и низким уровнем эрозии (до 10 000 т/га/год) занимают лишь 24% площади бассейна, что подчеркивает повсеместный характер деградационных процессов. Полученная картина позволяет классифицировать бассейн реки Сунжа как регион с преобладанием высокоинтенсивной почвенной эрозии. Это обуславливает высокие риски быстрой потери продуктивных земель, загрязнения водных объектов взвешенными наносами, заиления водохранилищ и формирования катастрофических паводков. Данный анализ показывает необходимость разработки и реализации комплексных противоэрозионных мероприятий, ориентированных прежде всего на зоны с экстремальными уровнями потерь.

3.3.6. Растительный и животный мир

Растительность бассейна разнообразна: в предгорьях преобладают степи (разнотравно-типчаково-ковыльные), на склонах леса – дубовые (500–1200 м), буковые (1200–1600 м), сосновые и березовые (до 2200 м). Выше расположены субальпийские луга (до 2700 м), альпийская и нивальная зоны, начинающиеся от 4000 м [Лурье, 2002].

Ранее степи доминировали в ландшафте, но на сегодняшний день – в значительной степени уступают место сельскохозяйственным угодьям. Однако в некоторых районах сохранились фрагменты целинных степей, представляющие собой ценные природные комплексы. Здесь встречаются различные виды ковыля (*Stipa pennata*), типчак (*Festuca valesiaca*), тонконог (*Koeleria cristata*), а также разнообразное разнотравье, включающее шалфей (*Salvia*), полынь (*Artemisia*), тысячелистник (*Achillea*). В бассейне реки Сунжа лесные массивы включают широколиственные леса с преобладанием дуба черешчатого (*Quercus*

robur), бука восточного (*Fagus orientalis*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*). В подлеске встречаются лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), боярышник (*Crataegus*), шиповник (*Rosa canina*), терн (*Prunus spinosa*). Также, в бассейне произрастают многочисленные виды злаков мятлик луговой – (*Poa pratensis*), овсяница луговая - *Festuca pratensis*, тимopheевка луговая – (*Phleum pratense*) и осок (*Carex*), а также разнообразное разнотравье, включающее клевер (*Trifolium*), люцерну (*Medicago*), герань (*Geranium*). В долинах рек можно наблюдать заросли ивы (*Salix*), облепихи (*Hippophae rhamnoides*), тамарикса (*Tamarix*) [Гумаев, Бацигов, Яумиева, 2024].

Растительное видовое разнообразие в бассейне реки Сунжа было изучено (рис. 3.34) в рамках полевых экспедиционных исследований (август - сентябрь 2024 года) в ходе проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки». В период работы экспедиции было описано 44 фации, расположенных по всему бассейну. На каждой фации было проведено описание ландшафтных условий, собраны образцы растений, для создания гербария.

В ходе экспедиционных исследований была выявлена характерная растительность, отражающая высотную зональность и разнообразие экотопов данного региона. Наиболее широко распространёнными древесными видами оказались бук восточный (*Fagus orientalis*) и граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), формирующие основу лесных ассоциаций на склонах Лесистого хребта и Черных гор на высотах 400–800 м. В пойменных лесах повсеместно доминировали ольха серая (*Alnus incana*) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), особенно вдоль рек Аргун и Фортанга, где они образуют влаголюбивые сообщества с участием клёна полевого (*Acer campestre*).

В степных и лугово-степных ландшафтах Терского и Сунженского хребтов преобладали злаки – свинорой пальчатый (*Cynodon dactylon*) и типчак (*Festuca valesiaca*), часто в сочетании с полыньёй горькой (*Artemisia absinthium*). Для кустарниковых зарослей характерны боярышник однопестичный (*Crataegus monogyna*) и шиповник собачий (*Rosa canina*), особенно на нарушенных участках вблизи населённых пунктов. В субальпийском поясе доминировали манжетка кавказская (*Alchemilla caucasica*) и клевер альпийский (*Trifolium alpestre*), а у верхней границы леса – рододендрон кавказский (*Rhododendron caucasicum*). Часто встречаются интродуцированные виды, такие как гледичия трёхколючковая (*Gleditsia triacanthos*) в пойме Сунжи и робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia*) в тугайных лесах, что свидетельствует о антропогенной трансформации растительного покрова. Выявленные закономерности отражают влияние как природных факторов (высота, увлажнение, почвы), так и

хозяйственной деятельности, особенно в низкогорьях, где широко распространены пастбищные дигрессии.



Растительность в окрестностях села Рошни-Чу, в Урус-Мартановском районе с буково-грабовым лесом с примесью лещины, 43°2.224'N 45°25.231'E.



Пойма на левом берегу р. Сунжа, представленная лугово-разнотравной растительностью и Гледичией трёхколючковой, 43°16.361'N 45°23.387'E.



Склон Терского хребта под степной злаково-бородачевой растительностью, 43°18.349'N 45°23.695'E.



Склон восточной экспозиции Пастбищного хребта под горно-луговой альпийской растительностью, 42°38.176'N 45°46.606'E.

Рис. 3.34 – Примеры растительности бассейна реки Сунжа, описанная в рамках проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки». Фото автора.

Бассейн реки Сунжа отличается богатыми природными условиями, что определяет большое разнообразие животного мира, сложность его фауны [Батхиев, 2015]. В полупустынных и степных районах, включая Терско-Кумскую низменность и Чеченскую равнину, распространены виды, адаптированные к аридным условиям: южный и ушастый ежи, белобрюхая белозубка, шакал, волк, корсак, перевязка, степной хорёк, ласка, барсук, лисица, камышовый кот, заяц-русак, а также грызуны — тушканчики, гигантский слепыш, серый хомячок, полуденная и гребенчуковая песчанки. В пойменных биотопах вдоль реки Сунжа,

характеризующихся повышенной влажностью, встречаются мезофильные виды: водяная кутора, выдра, ондатра, енот-полоскун, енотовидная собака, кабан, а также кавказский олень в местах с сохранными лесными массивами. Лесостепные предгорные зоны, подверженные антропогенному воздействию, населены синантропными видами (домовая мышь, серая крыса), а также широко распространёнными формами: малая лесная мышь, обыкновенная полевка, хомяки. В аридных внутригорных котловинах (Итум-Калинская, Шаро-Аргунская) фауна включает специализированные виды: азиатская широкоушка, нетопырь-карлик, остроухая ночница, а также переднеазиатские элементы — безоаровый козёл и дагестанский хомяк. Высокогорные районы бассейна Сунжи характеризуются наличием эндемичных и реликтовых видов: кавказская бурозубка, кутора Шелковникова, дагестанская полевка, серна, тур, кавказский подвид бурого медведя, что подчёркивает древность и уникальность формирования фауны в условиях изоляции [Батхиев, 2009; Абдурахманов, Батхиев, 2013; Батхиев, 2015].

3.4. Исторический контекст формирования ландшафтов и природопользования бассейна реки Сунжа

Бассейн реки Сунжа, большая часть которого расположена в Чеченской Республике, стал эпицентром ряда ключевых событий постсоветской истории России, сочетающих вооружённые конфликты, территориальные споры и процессы восстановления.

Первую российско-чеченскую войну, продолжавшуюся с 1994-го по 1996 год, считают одним из самых жестоких конфликтов на Северном Кавказе – если оценивать жестокость войны по числу людских потерь и масштабу потерь материальных [Меликова, 2012]. Чеченский вооружённый конфликт берёт своё начало со времени правления Михаила Сергеевича Горбачёва. Из-за начавшейся в это время перестройки в государстве начали возникать большие проблемы: уменьшалось количество внешнеполитических союзников, резко упал уровень жизни людей.

Вместе с началом распада СССР в 1990 году, на территории Чеченской республики начали распускать советские органы власти. Командующие Чеченской республики заявили о выходе из состава СССР и полной независимости Республики. Джохар Дудаев (служивший генерал-майором авиации Советской Армии) приказал сформировать вооружённые силы Чечни, усилить оборону и построить новые военные базы [Дегтярева, Трушин, 2022].

После распада Чечено-Ингушской АССР в 1992 году и провозглашения независимости Чечни регион погрузился в период нестабильности, усугублённый Первой (1994–1996) и Второй (1999–2009) чеченскими войнами. В ходе боевых действий Грозный, административный центр региона, подвергся масштабным разрушениям, включая уничтожение инфраструктуры и

нефтеперерабатывающих комплексов, что привело к загрязнению водных ресурсов Сунжи нефтепродуктами и тяжёлыми металлами.

В 1999–2000 гг. федеральные силы установили контроль над равнинными районами бассейна, включая Сунженский и Надтеречный районы, которые стали зоной интенсивных боестолкновений. Вооружённые конфликты сопровождались миграционным кризисом: до 300 тыс. жителей были вынуждены покинуть территории вдоль Сунжи, что привело к демографическому дисбалансу и запустению сельскохозяйственных угодий. В постконфликтный период (после 2009 г.) началось восстановление гидротехнических сооружений, включая очистку русла реки от завалов и реконструкцию ирригационных систем, однако антропогенная нагрузка на экосистему сохранилась из-за незаконных свалок и нерегулируемого водозабора [Липина, 2007].

В ходе исследования были выделены основные вооружённые конфликты в бассейне реки Сунжа (рис.3.35), которые оказали значительное влияние на трансформацию территории.



Рис. 3.35 – Основные события с 1992 г. по 2010 г., связанные с активной стадией вооружённого конфликта в бассейне реки Сунжа.

Исходя из проведённого анализа, динамика конфликтов позволила выделить три ключевых этапа: доконфликтный период (1992-1994 гг.), характеризующийся нарастанием напряжённости и предпосылками к эскалации; этап активного вооружённого противостояния (1995-2002 гг.), включающий масштабные боевые действия, такие как штурмы Грозного, боевые действия в Сунженском районе и другие операции; а также постконфликтный этап (2003-2020 гг.), связанный с завершением активных боевых действий, стабилизацией

обстановки и началом восстановительных процессов. Каждый из этих этапов отражает различную специфику военно-политической ситуации и её последствий для региона.

Анализ динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа. В результате исследования получены карты пространственной дифференциации динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992–2000 гг. (рис.3.36).

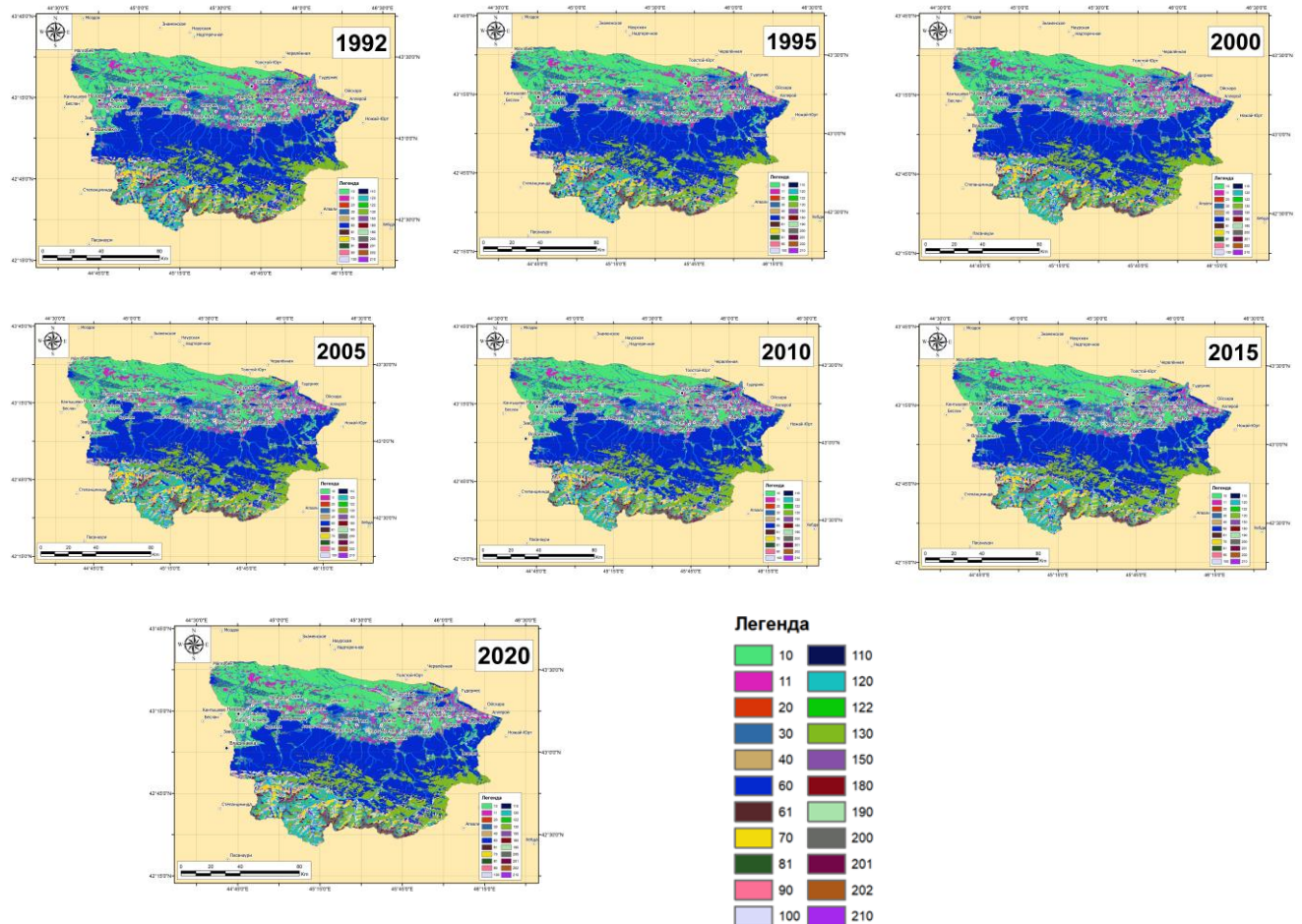


Рис. 3.36 – Пространственное распределение динамики наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992-2020 гг.

Условные обозначения: 10 - Пашня, неорошаемая; 11 - Пашня, неорошаемая с травянистым покровом; 20 - Пашня, орошаемая; 30 - Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%); 40 - Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%); 60 - Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%); 61 - Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый; 70 - Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%); 81 - Лес, игольчатый, лиственный; 90 - Лес, смешанный; 100 - Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%); 110 - Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники

(<50%); 120 - Кустарники; 122 - Кустарники (лиственные); 130 - Пастбища; 150 - Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%); 180 - Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солончатая вода; 190 - Урбанизированные территории; 200 - Открытая почва; 201 - Неуплотненная открытая почва; 202 - Консолидированные голые участки; 210 - Водные объекты. Составлено по материалам [Land Cover CCI..., 2017].

Анализ пространственной динамики наземного покрова в бассейне реки Сунжа, проведённый на основе данных Land Cover CCI за 1992–2020 гг., выявил чёткую географическую дифференциацию типов ландшафтов и их трансформацию под влиянием природных и антропогенных факторов. В северной части бассейна (районы Наурской, Червлённой, Толстой-Юрт) доминируют агроландшафты, представленные «Пашня, неорошаемая» (класс 10) и «Пастбища» (класс 130). Эта зона характеризуется максимальной антропогенной трансформацией.

Центральная часть бассейна (окрестности Гудермеса, Ойсахы, Аллероя) демонстрирует мозаичную структуру покрова с преобладанием класса «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60) и «Кустарники» (класс 120). Здесь зафиксированы наиболее значительные потери лесного покрова. Южные горные районы (Хебда, Пасанаури, Степанцминда) сохраняют относительно стабильные природные комплексы: «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150) и «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70).

Устойчивость этих ландшафтов обусловлена их низкой доступностью для хозяйственного освоения и природоохранным статусом отдельных территорий. Урбанизированные зоны (Грозный, Гудермес) выделяются резким ростом площади «Урбанизированные территории» (класс 190), что привело к фрагментации окружающих экосистем.

Наиболее значительные изменения наземного покрова в бассейне реки Сунжа (1992–2020 гг.) зафиксированы в северных равнинных районах (Наурская, Червлённая), где доминируют интенсивно трансформируемые агроландшафты «Пашня, неорошаемая» (класс 10), «Пастбища» (класс 130), и в центральной части (Гудермес, Ойсхара); урбанизированные зоны (Грозный) демонстрируют высокий рост застроенных территорий «Урбанизированные территории» (класс 190). Наименее изменённые территории — южные горные районы (Хебда, Пасанаури), где сохраняется относительная стабильность природных комплексов «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150), «Лес, хвойный, от

закрытого до открытого (>15%)» (класс 70) благодаря труднодоступности и природоохранному статусу.

Для анализа динамики регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки, в ходе исследования была проанализирована динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа. В результате исследования были получены графики изменения типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992–2020 гг. (рис.3.37-4.40).

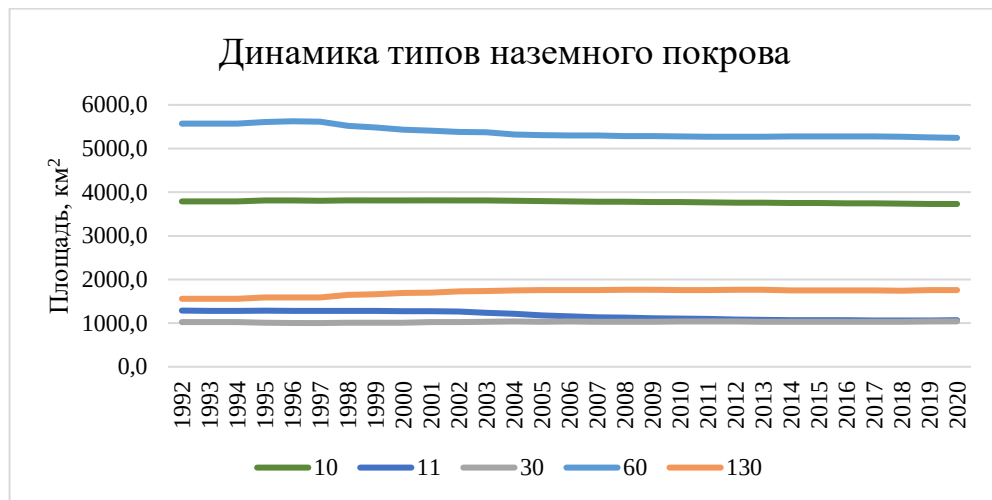


Рис. 3.37 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа «Пашня, неорошаемая» (класс 10); «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60); «Пашня, неорошаемая с травянистым покровом» (класс 11); «Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%)» (класс 30); «Пастбища» (класс 130).

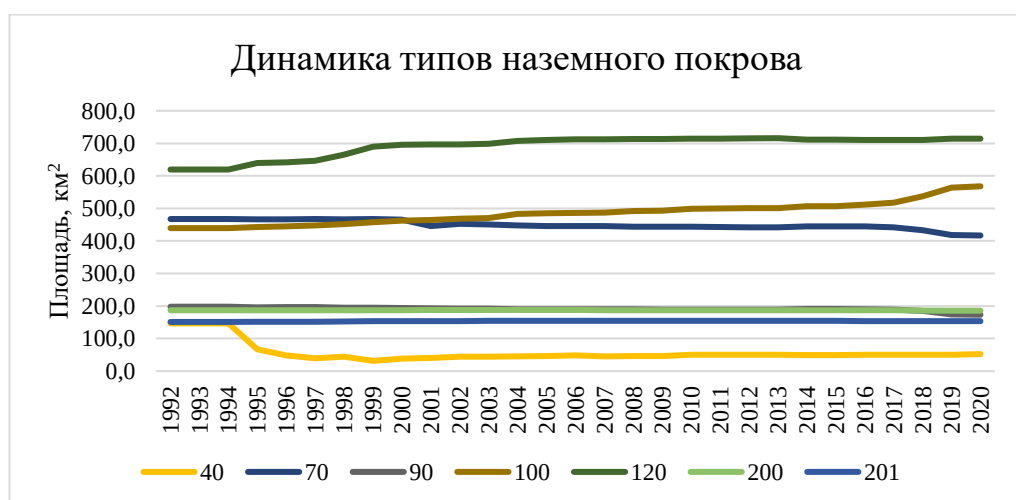


Рис. 3.38 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа – «Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40); «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70); «Лес, смешанный» (класс 90); «Открытая почва» (класс 200);

«Неуплотненная открытая почва» (класс 201); «Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%)» (класс 100); «Кустарники» (класс 120).

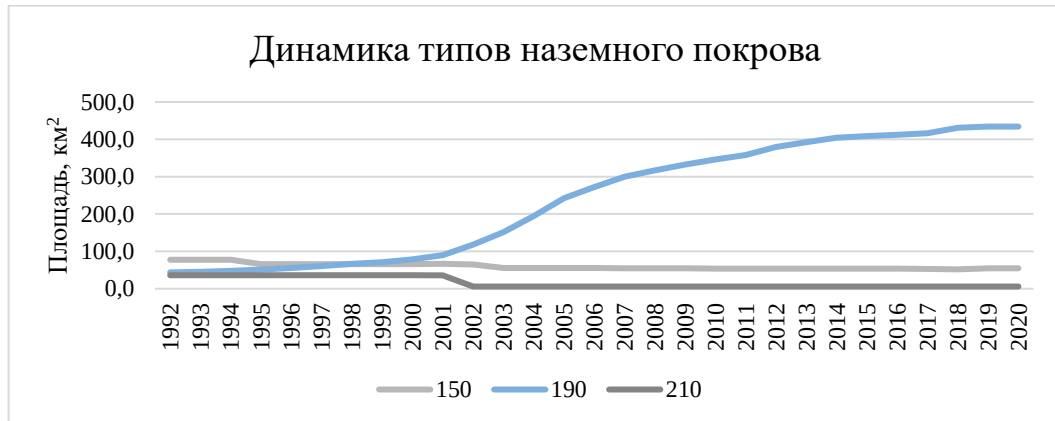


Рис. 3.39 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа – «Урбанизированные территории» (класс 190); «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150); «Водные объекты» (класс 210).

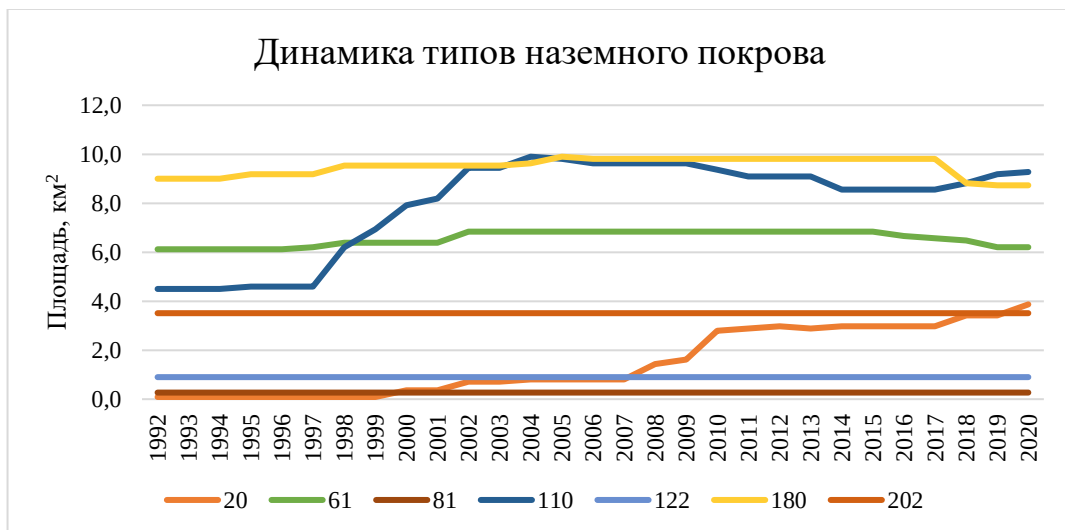


Рис. 3.40 – Динамика типов наземного покрова в бассейне реки – «Пашня, орошаемая» (класс 20); «Лес, игольчатый, лиственный» (класс 81); «Кустарники (лиственные)» (класс 122); «Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый» (класс 61); «Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники (<50%)» (класс 110); «Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солоноватая вода» (класс 180); «Консолидированные открытые участки» (класс 202).

Анализ данных выявил выраженную дифференциацию трансформации наземного покрова, при этом наиболее значительные изменения наблюдались следующих классов (рис. 3.31-3.35): «Пашня, орошаемая» (класс 20) продемонстрировал большой рост, увеличившись с 1 км² до 43 км², что соответствует увеличению площади на 4200%. Несмотря на столь

значительный процентный прирост, абсолютная площадь данного типа использования остается крайне незначительной в общей структуре земельного покрова бассейна; «Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40) претерпел существенные изменения, его площадь сократилась с 1630 км² до 583 км², что означает уменьшение на 64,2%; «Пастбища» (класс 130) показывает положительную динамику, увеличившись с 17319 км² до 19490 км², что соответствует росту на 12,5%.

«Пашня, неорошаемая с травянистым покровом» (класс 11) сократился на -2444 км² (-17,1%). Наблюдается устойчивая тенденция постепенной деградации хвойных лесов на территории бассейна - «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70) сократил свою площадь с 5191 км² до 4631 км², уменьшившись на 10,8%. «Лес, смешанный» (класс 90) показывает отрицательную динамику, аналогичную другим лесным классам. Его площадь сократилась с 2200 км² до 1925 км², что составляет уменьшение на 12,5%. «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60) также уменьшился с 61930 км² до 58273 км², что соответствует потере 5,9% лесного покрова данного типа. «Кустарники» (класс 120) увеличил свою площадь с 6883 км² до 7936 км², демонстрируя рост на 15,3%; «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150) сократился с 861 км² до 607 км², уменьшившись на 29,5%. «Водные объекты» (класс 210) претерпел резкое сокращение площади со 402 км² до 65 км² в 2002 году, после чего их площадь стабилизировалась на этом уровне, общее уменьшение за период составило 83,8%,

Минимальные изменения зафиксированы у следующих классов: «Лес, игольчатый, лиственный» (класс 81) и класс «Консолидированные голые участки» (класс 202), «Пашня, орошаемая» (20), «Кустарники (лиственные)» (класс 122) и «Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый» (класс 61).

Выводы по разделу 3

В разделе 3 проведен комплексный анализ географических и исторических факторов трансформации территории бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжи, что позволило выявить ключевые закономерности их развития.

1. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) представляет собой трансграничный гидрографический объект, расположенный в зоне активного тектонического и климатического взаимодействия, что определяет его сложную пространственную организацию и высокую экологическую уязвимость. Географическое положение бассейна в пределах трёх стран (Ливана, Сирии и Турции) на стыке Средиземноморского побережья и Аравийского плоскогорья обуславливает его ключевую роль в региональных гидрологических и социально-экономических процессах.

Климатические условия бассейна варьируют от средиземноморских (с зимне-весенними осадками 500-700 мм) на западе до аридных (<100 мм) в восточных районах. Наблюдаемая с начала XXI века аридизация, включая экстремальные засухи (2006–2011 гг.), усугубляет водodefицит, особенно в сельскохозяйственных районах Сирии (Хама, Хомс). Геологическое строение территории связано с Сирийским рифтом, что формирует специфику рельефа и гидрографической сети. Рельеф характеризуется резкими перепадами высот (от -3,2 м в дельте до 3 250 м в хребте Ансария) и сложной морфометрией, включающей аллювиальные равнины (Эль-Габ, Амук), базальтовые плато (Хомс) и глубоко врезаемые участки долин. Такая неоднородность рельефа, наряду с преобладанием крутых склонов ($>25^\circ$), усиливает эрозионные процессы и влияет на распределение осадков, формируя чёткую высотную зональность. Почвенный покров характеризуется преобладанием малопродуктивных ксероморфных почв, подверженных засолению и эрозии. Исторический контекст (вооруженный конфликт в Сирии с 2011 г.) оказал большое воздействие на ландшафты: разрушение инфраструктуры, сокращение сельскохозяйственных площадей и загрязнение водных ресурсов привели к трансформации природопользования. Гидрологическая система бассейна отличается сезонной изменчивостью стока, питаемого преимущественно карстовыми источниками и талыми водами. Интенсивное использование водных ресурсов для орошения и гидроэнергетики (плотины Ярсели, Карамнали) привело к нарушению естественного режима реки, особенно в нижнем течении, где отмечается загрязнение промышленными стоками. Биоразнообразие бассейна, несмотря на фрагментацию естественных местообитаний, сохраняет значительную ценность, включая эндемичные виды рыб и реликтовые фитоценозы. Однако вооруженные конфликты (2011–2020 гг.) и связанные с ними разрушения инфраструктуры усугубили антропогенное давление на экосистемы, приведя к сокращению численности ключевых видов. Таким образом, бассейн реки Эль-Аси (Оронт) представляет собой динамичную систему, где взаимодействие природных факторов и антропогенных процессов определяет его современную трансформацию. Для устойчивого управления ресурсами бассейна необходимы трансграничные механизмы координации, учитывающие его морфометрические, гидрологические и экологические особенности.

2. Географическое положение бассейна реки Сунжа характеризуется сложной пространственной организацией, обусловленной его трансграничным расположением, значительной протяженностью и площадью водосбора. Исток реки, расположенный в районе Черных гор на северном склоне Большого Кавказа, формирует гидрографическую сеть, что подчеркивает высокую степень расчлененности рельефа в высокогорной зоне. Крупные притоки, такие как Асса, Аргун, Шаро-Аргун и Белка, играют ключевую роль в формировании водного режима, прорезая склоны хребтов и создавая глубокую эрозионную сеть.

Административно бассейн охватывает несколько субъектов Российской Федерации (Чеченская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Республика Ингушетия, Республика Дагестан), а также частично затрагивает территорию Грузии (верховья притоков Ассы и Аргуна). Морфометрические параметры бассейна, включая значительный перепад высот (от 27 до 4464 м), средний уклон (9,4 м/км) и коэффициент формы (0,31), свидетельствуют о преобладании горного рельефа с интенсивными эрозионными процессами. Вытянутая форма бассейна (длина 197,9 км при средней ширине 91,1 км) и умеренная изрезанность (коэффициент округлости 1,50) определяют особенности гидрологического режима. С точки зрения климата – в бассейне реки Сунжа, четко прослеживаются закономерности широтной зональности и высотной поясности, а также все переходные типы климата от сухих, жарких и вечных снегов нивальной зоны - от засушливого умеренно континентального до высокогорного. Таким образом, географическое положение бассейна реки Сунжа формирует уникальные природные условия, сочетающие горные и равнинные ландшафты, что требует комплексного подхода к изучению и управлению его ландшафтами.

РАЗДЕЛ 4. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ БАССЕЙНОВ РЕК В РАЗРЕЗЕ ПОСТКОНФЛИКТНЫХ УСЛОВИЙ

4.1. Пространственно-временной анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Эль-Аси (Оронт)

4.1.1. Регуляция лесного покрова

В бассейне реки Эль-Аси (Оронт) была проанализирована экосистемная услуга регуляция лесного покрова (рис.4.1.). В ходе исследования были получены данные, посредством платформы [Global Forest Change..., 2025], показывающие, что наблюдается сокращение лесного покрова в бассейне реки. Это связано с целым рядом социально-экономических факторов, к которым относятся: вооруженный конфликт, лесные пожары, вырубка леса, расширение сельскохозяйственных угодий, производство древесного угля и слабость государственных институтов в управлении природными ресурсами и развитии окружающей среды [The Environmental Impact..., 2021].

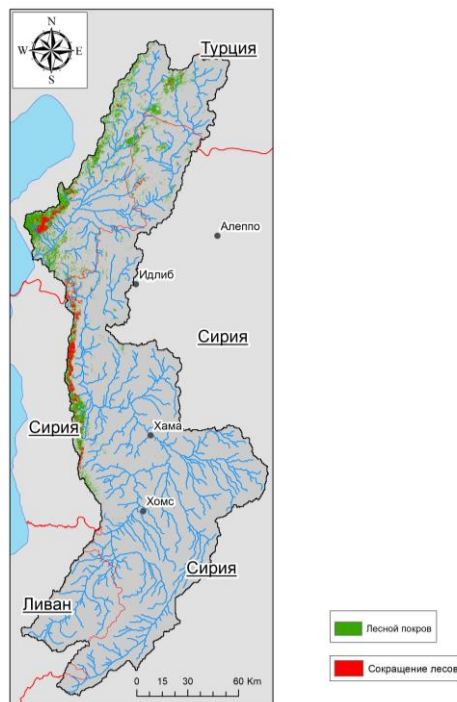


Рис. 4.1 – Сокращение площади лесов в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), 2001-2023 гг.

Анализ пространственной динамики лесного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) выявил значительные трансформации. Наблюдается выраженное сокращение лесных массивов, наиболее интенсивное в мухафазах Хама, Идлиб, Аллепо (Сирия) и в районе Хатай (Турция), что связано с расширением сельскохозяйственных земель, природными нарушениями (пожары, засухи), неконтролируемыми рубками и последствиями вооруженных конфликтов. Наименьшая динамика сокращения характерна для севера бассейна - провинции Газиантеп (Турция).

Динамика сокращения площади лесов в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в разрезе выделенных исторических периодов (доконфликтный, активных вооруженных действий, постконфликтный), представлена в рис. 4.2.

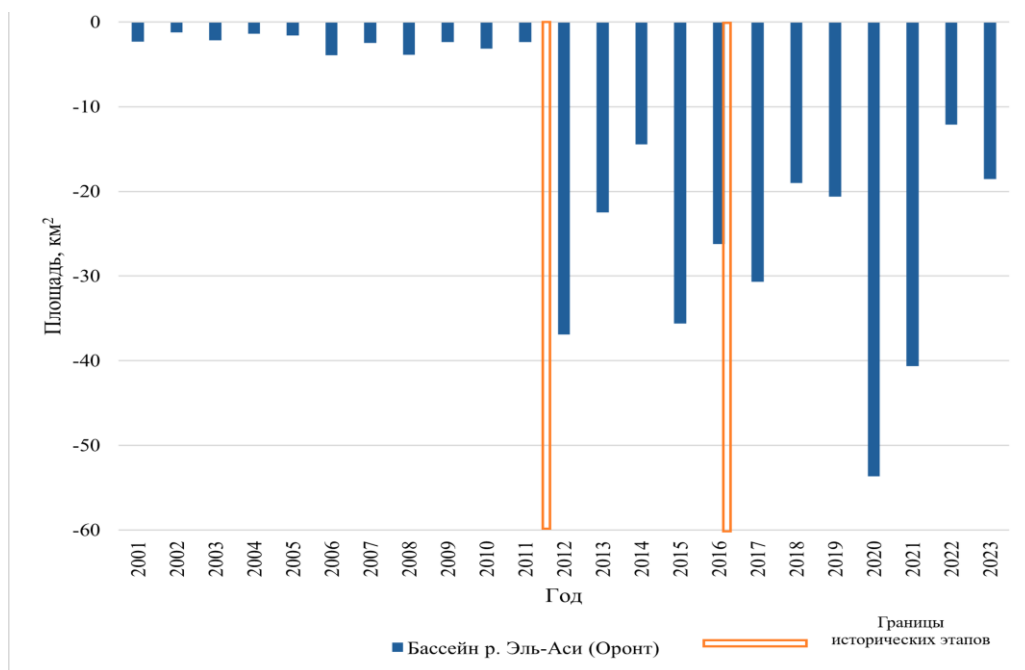


Рис. 4.2 – Динамика сокращения площади лесов в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), 2001-2023 гг., км².

Анализ данных демонстрирует выраженную связь между динамикой сокращения площади лесов в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) и периодами вооруженного конфликта, где в доконфликтный период (2001–2010 гг.) наблюдались относительно стабильные и низкие показатели сокращения лесных площадей, варьирующиеся в пределах 1,2 км² (2001 г.) до 3,9 км² (2006 г.), в то время как период активного вооруженного конфликта (2012–2016 гг.) характеризуется существенным увеличением темпов сокращения лесов, достигающих пиковых значений в 36,9 км² (2012 г.) и 35,6 км² (2015 г.), с промежуточными значениями в 22,5 км² (2013 г.), 14,4 км² (2014 г.) и 30,7 км² (2017 г.), что указывает на значительное воздействие конфликта на лесные ресурсы, а в постконфликтный период (2017–2023 гг.) прослеживается

неравномерная динамика с колебаниями от 53,6 км² (2019 г.) и 40,6 км² (2020 г.), с тенденцией к снижению в 12,1 км² (2021 г.) и последующим ростом в 18,5 км² (2023 г.), что свидетельствует о сохраняющемся воздействии на лесные экосистемы, связанным с постконфликтными экономическими и социальными факторами. Стоит отметить, что в 2020 году в нескольких странах Ближнего Востока, на фоне необычной для того времени года аномальной жары, а также различных вооруженных конфликтов, активизировались лесные пожары. Лесные пожары в Турции в 2020 г. и 2021 г. стали одними из самых разрушительных в истории страны. Например, на самом крупном пожаре на юге Хатая, пламя тушили в течении 93 часов и работали более тысячи спасателей. Сильно в тот период пострадали леса Сирии. В общей сложности сгорело около 240 тыс. гектаров леса, преимущественно в Латакии и центральной провинции Хомс. В 2020 году в Сирии зафиксировали 187 лесных пожаров, которые имели масштабные последствия и были организованы в ходе террористических актов (пожары уничтожили более 9000 гектаров сельскохозяйственных и лесных угодий, затронув 140 000 человек) [The Environmental Impact..., 2021]. Горели оливковые рощи и ценные породы деревьев, к их тушению привлекалась российская техника [Русская служба Би-би-си... , 2024; Сентябрь по..., 2020; Российские военные отстояли..., 2023; В Турции в..., 2024].

Выявленные изменения свидетельствуют о снижении экосистемной услуги регуляция лесного покрова, что проявляется в утрате способности экосистем к естественному воспроизводству и поддержанию пространственно-временной устойчивости лесных массивов.

4.1.2. Депонирование углерода

Модель InVEST оценивает текущее количество углерода, хранящегося в ландшафте, и оценивает количество депонированного углерода с течением времени. Общее количество запасенного углерода в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг. представлено на рис. 4.4. В результате исследования были получены карты пространственно-временного анализа количества запасенного углерода в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг. (рис. 4.3).

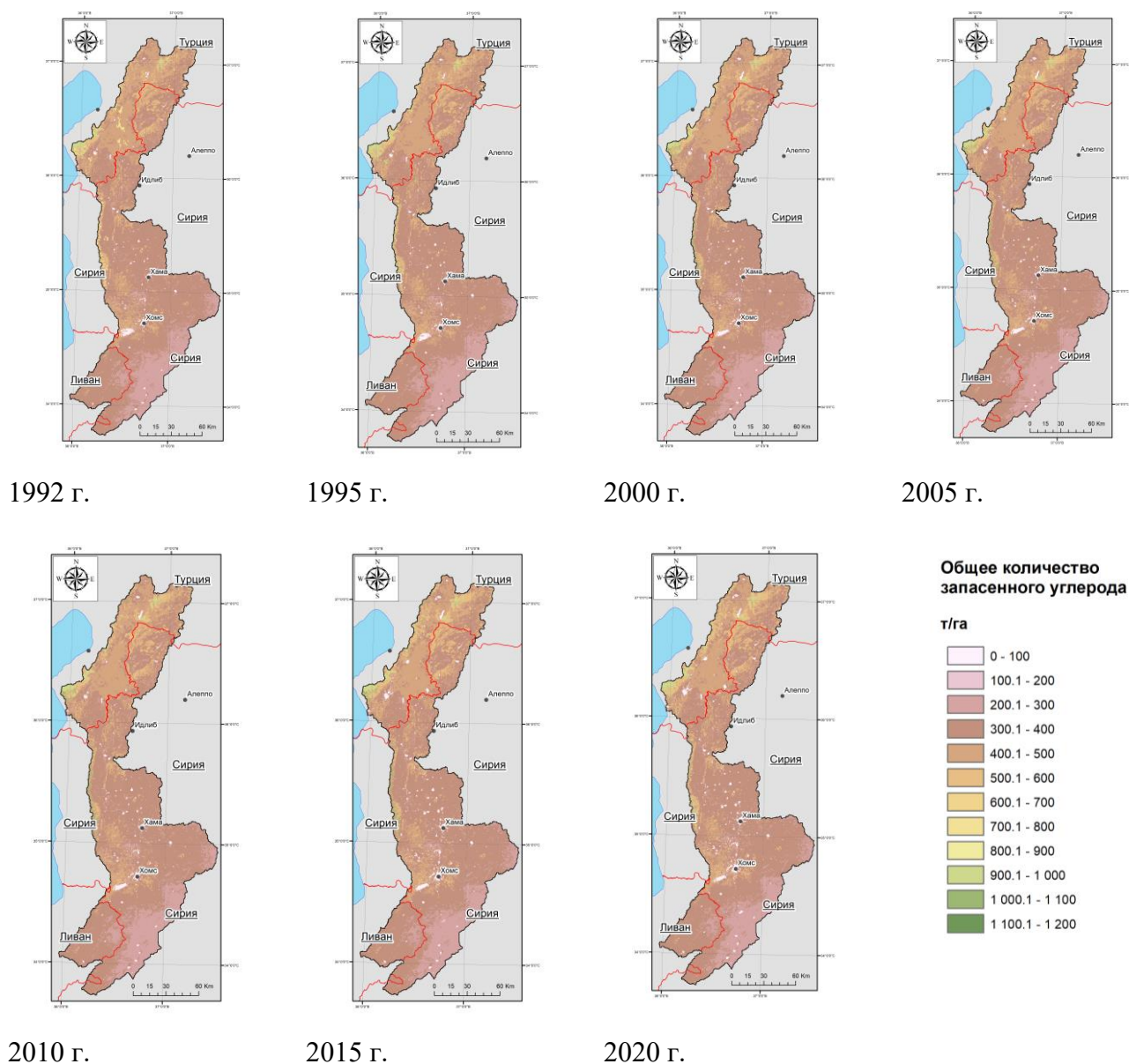


Рис. 4.3 – Пространственно-временной анализ депонирования углерода в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг.

Наибольшие запасы углерода (свыше 1000 т/га) сосредоточены в зонах с высокой плотностью растительного покрова, характерные для северо-запада Сирии, и северной части бассейна – территории Турции, где преобладают лесные экосистемы. Эти ландшафты отличаются высокой продуктивностью и способностью к долгосрочному депонированию углерода в биомассе и почвах. В то же время засушливые и полусухие районы Сирии (Хама, Хомс) демонстрируют значительно меньшие значения (0–300 т/га), что связано с преобладанием агроэкосистем, степных и опустыненных территорий, подверженных антропогенной нагрузке.

Динамика депонирования углерода за исследуемый период отражает влияние как природных, так и антропогенных факторов, распределение запасов углерода в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) и имеет четкую ландшафтную привязку: максимальные значения приурочены к влажным и лесным территориям, тогда как минимальные – к аридным и трансформированным землям.

В ходе исследования, было проанализировано общее количество депонированного углерода в бассейн реки Эль-Аси (Оронт), представленное на рис.4.4.



Рис. 4.4 – Динамика изменения общего количества углерода в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), млн. т.

Анализ динамики запасов углерода как экосистемной услуги в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в период с 1992 по 2020 год показывает, что их величина варьируется в относительно устойчивом диапазоне от 98,67 до 101,86 млн тонн. Отсутствие выраженных негативных аномалий в депонировании углерода, особенно в периоды социально-политической нестабильности, позволяет предположить, что процессы депонирования углерода в данной экосистеме демонстрируют стабильность. Это указывает на то, что прямой взаимосвязи между интенсивностью антропогенного воздействия, связанного с вооруженными конфликтами в регионе, и нарушением экосистемной услуги ландшафтов по депонированию углерода в исследуемый временной интервал не выявлено.

4.1.3. Обеспечение пресной водой

Экосистемная услуга обеспечение пресной водой оценивает среднегодовой объём стока на основе взаимосвязи между климатическими факторами (осадки, эвапотранспирация),

физико-географическими характеристиками бассейна (типы почв, уклон, гидрологическая проводимость) и антропогенными воздействиями (изменение типов наземного покрова, мелиоративные мероприятия). Пространственный анализ (рис 4.5) обеспечения пресной водой на основе данных InVEST для бассейна реки Эль-Аси (Оронт) в период с 1992 по 2020 год позволяет выявить ключевые тенденции на местности.

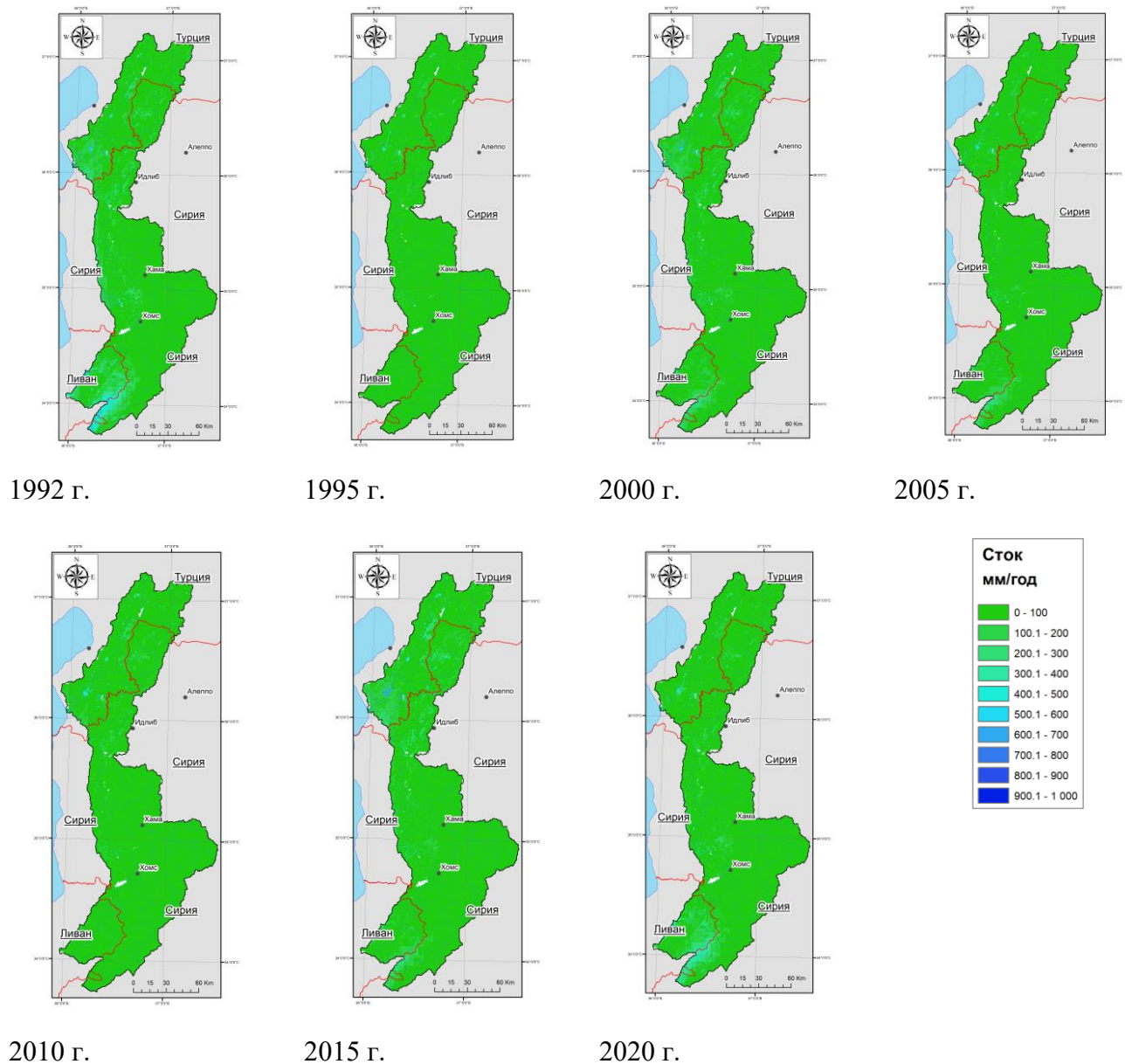


Рис. 4.5 – Пространственно-временной анализ обеспечения пресной водой в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг.

Пространственный анализ демонстрирует неоднородность распределения экосистемной услуги по территории. Наибольшие значения характерны для горных районов Ливана, что обусловлено орографическим эффектом и повышенным количеством осадков. В то же время

равнинные участки Сирии и Турции, отличаются меньшими значениями, что связано с засушливым климатом и интенсивным водопользованием. Обеспечение пресной водой в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за исследуемый период находилось под влиянием комплекса факторов, среди которых последствия вооруженного конфликта.

Экосистемная услуга обеспечение пресной водой в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) демонстрирует динамику, обусловленную антропогенно-климатическими факторами на фоне военно-политической нестабильности. Результаты исследования представлены на рис.4.6.

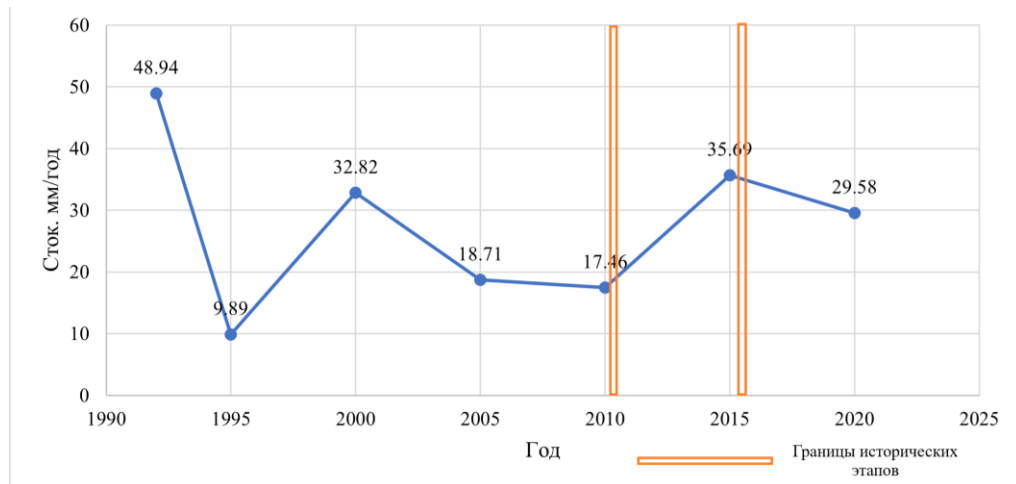


Рис. 4.6 – Динамика обеспечения пресной водой в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), мм/год.

Анализ динамики показателя обеспечение пресной водой в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), выявляет неопределенную тенденцию на протяжении всего рассматриваемого периода. Наблюдается снижение показателя с отдельными пиками роста. Падение показателя в 1995 году объясняется уменьшением осадков (рис.3.9) и сокращением количества леса исходя из динамики типов наземного покрова (Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)) - класс 60) (рис.3.18). По данным Сирийского аналитического портала «в 1995 г. в Сирии наблюдался острейший дефицит водного баланса, который превысил 3.1 млрд кубометров» [Dawod, 2012], что совпадает с результатами исследования. Также наблюдается увеличения показателя в течении двух периодов (1995-2000 гг, 2010-2015 гг.). Первый период совпадает с увеличением количества осадков (рис.3.9.). С 2010 по 2015 гг., в связи с вооруженными конфликтами наблюдается сокращение количества возделываемых земель (рис.3.18) и как следствие – увеличение показателя экосистемной услуги. Таким образом, можно заключить, что динамика экосистемной услуги обеспечение пресной водой в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) является следствием фоновых долгосрочных изменений факторов

внешней среды и косвенно зависит от краткосрочных экстремальных событий, таких как вооруженные конфликты.

4.1.4. Снижение риска наводнений

В контексте усиливающихся климатических изменений и антропогенной трансформации ландшафтов проблема наводнений приобретает особую актуальность. В рамках исследования был проведен анализ динамики экосистемной услуги - снижения риска наводнений с применением программного комплекса InVEST за период 1992–2020 гг. В результате исследования получены данные об индексе снижения риска наводнений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), представленные на рис. (4.7.)

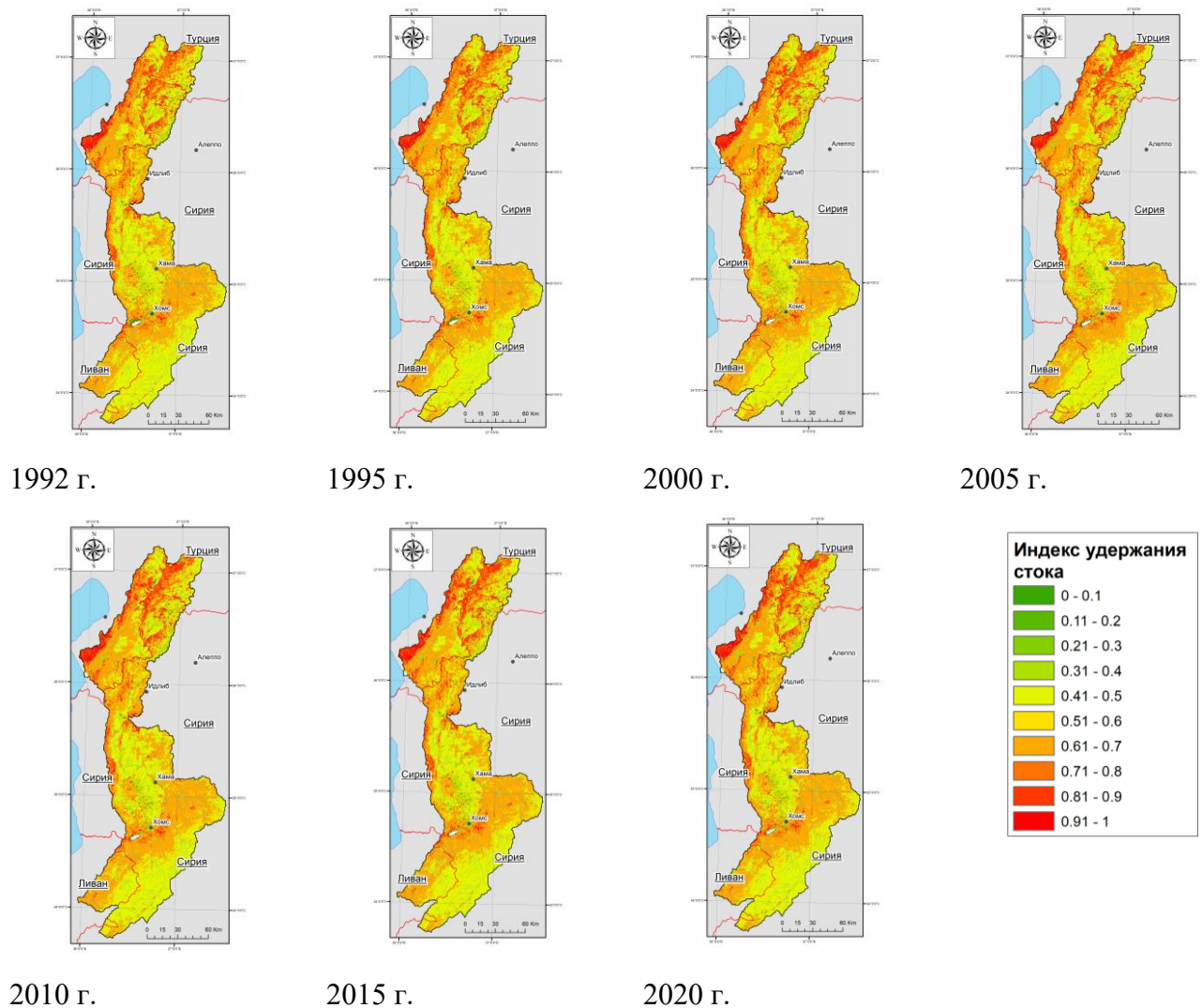


Рис. 4.7 – Пространственно-временной анализ индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 1992–2020 гг.

Анализ динамики экосистемной услуги снижение риска наводнений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) показывает пространственную неоднородность: наиболее высокие значения (0,7–1,0) характерны для северной и северо-западной части бассейна (Сирия и Турция), где сохранились лесные массивы и естественная растительность, тогда как минимальные показатели (0–0,3) зафиксированы в засушливых равнинных областях центральной Сирии (районы Хамы и Хомса) из-за интенсивного сельскохозяйственного использования и деградации почв. Турция демонстрирует средние значения (0,4–0,6), что связано с сочетанием антропогенного воздействия и сохранившихся природных экосистем.

Результаты анализа изменений индекса снижения риска наводнений представлены на рис. 4.8.

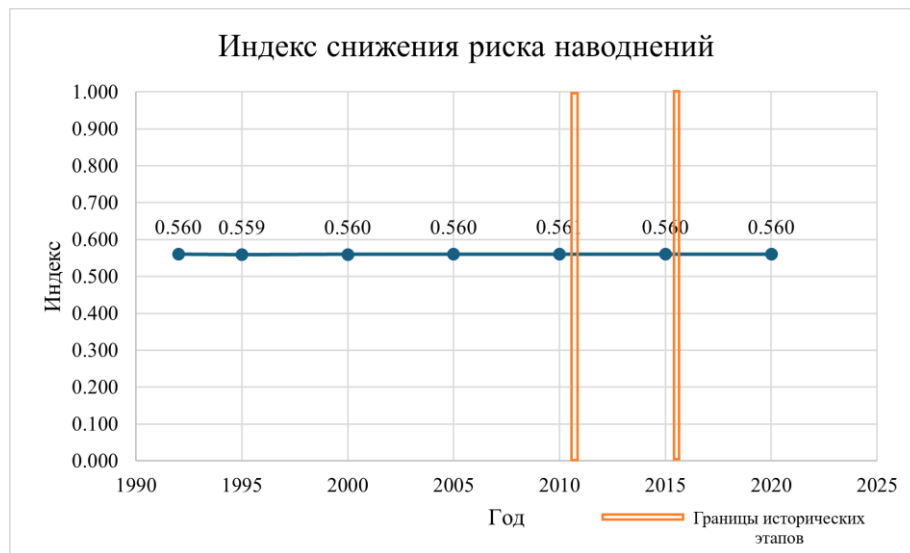


Рис. 4.8 – Динамика индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт).

Анализ динамики индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) выявляет стабильность показателя, колеблющегося в узких границах 0,559–0,561. Таким образом, можно заключить, что экосистемная услуга сохранила свои ключевые характеристики и функциональную значимость без существенных изменений.

4.1.5 Изменение показателей экосистемных услуг

На основе проведенного пространственно-временного анализа регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в разрезе трех исторических этапов можно заключить, что наиболее значительным изменениям в период активного вооруженного

конфликта (2011–2016 гг.) и в постконфликтный период (2017–2020 гг.) подверглась услуга регуляции лесного покрова, о чем свидетельствуют показатели сокращения лесных площадей в период активного вооруженного конфликта (среднегодовая изменчивость составила 26,8 км²) и в постконфликтный период (среднегодовая изменчивость 29,1 км²), по сравнению с доконфликтными показателями (среднегодовая изменчивость 3,1 км²). Услуга депонирования углерода продемонстрировала относительную устойчивость, выразившуюся в стабилизации общих запасов углерода на уровне 101.5–101.9 млн т, что, однако, свидетельствует не только о сохранности, а также о потере потенциала дальнейшего депонирования, что требует восстановительных мер для возобновления роста. Услуга снижение риска наводнений показала слабую изменчивость индекса (0.559–0.561), в то время как услуга обеспечение пресной водой выявляет неопределенную тенденцию на протяжении всего рассматриваемого периода – среднегодовая изменчивость составила в доконфликтный период (25,5 мм/год), в период активного вооруженного конфликта (26,5 мм/год) и в постконфликтный период (32,6 мм/год), уровень которых зависит как от природных, так и от антропогенных факторов: климатические показатели (уменьшение осадков), изменение типов наземного покрова, в том числе от вооружённого воздействия. Таким образом, наибольшего внимания и первоочередных мер восстановления требует регулирующая экосистемная услуга регуляция лесного покрова как услуга, наиболее чувствительная к антропогенным нарушениям и критическая для обеспечения устойчивости всей социально-экологической системы бассейна.

4.2. Пространственно-временной анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Сунжа

4.2.1. Регуляция лесного покрова

Данные о динамике лесов в бассейне реки Сунжа получены с базы геоданных [Global Forest Change..., 2025], загружены в программный комплекс ArcGIS 10, где был выполнен их анализ и произведена визуализация. В результате исследования получены данные о сокращении лесного покрова в бассейне реки Сунжа.

Стоит отметить, что общая площадь лесов на территории Чеченской Республики составляет 352,7 тыс. га (21,8% от общей площади республики). Средняя лесистость достигает 20,1% от общей площади республики. Наибольшая лесистость в республике характерна для Шатойского, Ножай-Юртовского и Веденского районов, где она составляет 62,9%, 44,5% и 42,5% соответственно, тогда как в Шелковском, Наурском и Надтеречном районах лесистость составляет лишь 6,1%, 4,7% и 4,5%. По целевому назначению леса на территории Чеченской

Республики отнесены к защитным лесам [Лесной план Чеченской, 2019].

Картографический анализ состояния лесов в бассейне реки Сунжи в период с 2001 по 2023 гг. (рис.4.9) выявил очаговую деградацию лесных массивов, преимущественно сосредоточенную в предгорных и горных районах южной и юго-восточной части бассейна, а также вдоль отдельных речных долин. Это указывает как на антропогенные факторы развития процесса сокращения местных лесных экосистем, такие как расширение пастбищ, стихийные бедствия (пожары), так и природные – климатические факторы, экзогенные процессы, способствующие уменьшению лесного покрова.

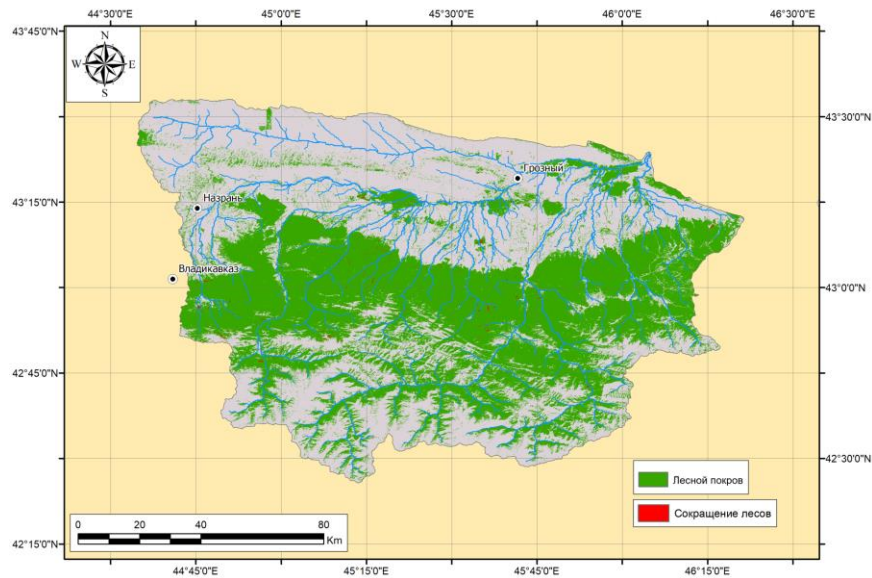


Рис. 4.9 – Сокращение площади лесов в бассейне реки Сунжи, 2001-2023 гг.

В целом за период с 2001 по 2023 гг. в бассейне реки Сунжа площадь лесов сократилась на 281 км², что составило приблизительно 2% от площади водного бассейна (12130,7 км²) и 5% от площади всех лесов в бассейне (5578,8 км²). Также нужно отметить, что сокращение площади лесов проявляется фрагментарно.

Пространственный анализ выявил очаговый характер деградации регуляции лесного покрова, сосредоточенный в предгорных и горных районах, а также вдоль речных долин, что коррелирует с хозяйственной деятельностью, так как бассейн реки, сохраняющий в своих верховьях естественные ландшафты за счет наличия крупных ООПТ, в среднем и нижнем течении имеет сельскохозяйственные угодья и крупные населенные пункты (например, г. Грозный, г. Назрань).

Динамика лесного покрова в качестве регулирующей экосистемной услуги представлена на рис.4.10.

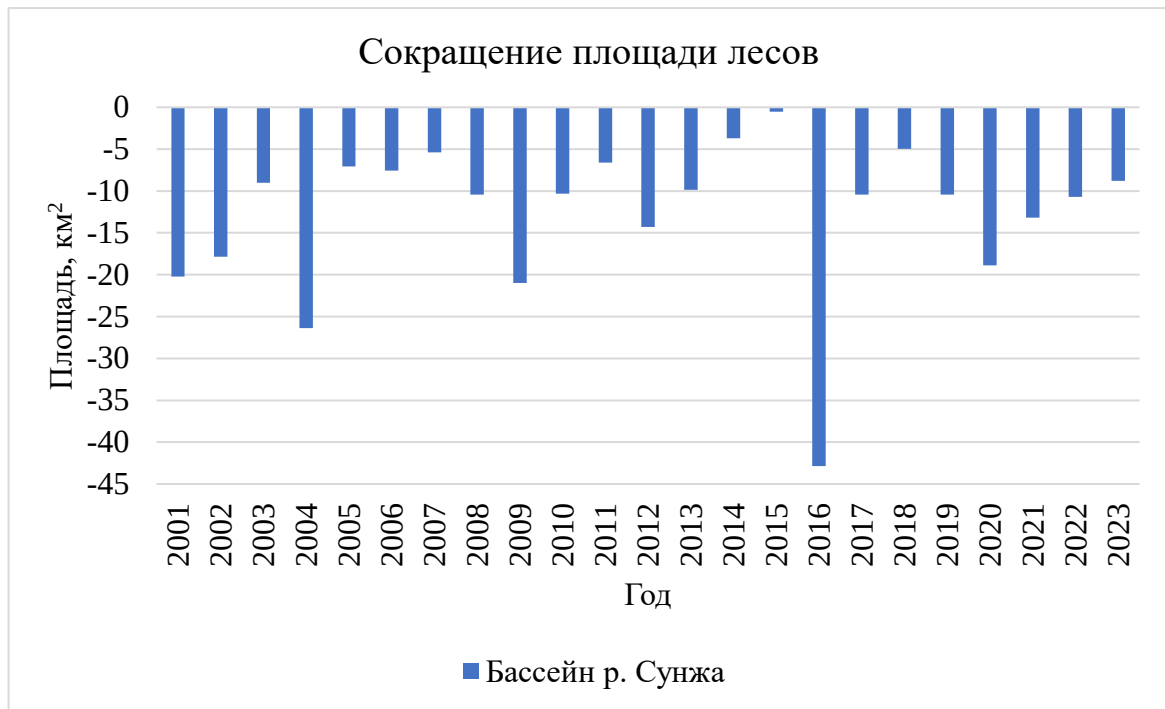


Рис. 4.10 – Динамика сокращения площади лесного покрова в бассейне реки Сунжа, 2001-2023 гг., км².

Анализ динамики сокращения лесного покрова в бассейне реки Сунжа, опирающийся на данные, доступные с 2001 года, позволяет реконструировать постконфликтную тенденцию, однако накладывает существенные ограничения на прямую количественную оценку воздействия фаз активного конфликта (1995–2002) и доконфликтного периода (1992–1994). Постконфликтный период (2003–2020 гг.), для которого и имеются фактические данные, демонстрирует снижение интенсивности сокращения лесного покрова по сравнению с предполагаемым пиком в годы активного противостояния, однако показатели остаются стабильно отрицательными (сокращение продолжается ежегодно), что свидетельствует о сохранении факторов влияния, таких как постконфликтное восстановление хозяйства, перевыпас скота и т.д.

4.2.2. Депонирование углерода

Был проведен анализ регулирующей экосистемной услуги – депонирование углерода, за период с 1992 по 2020 гг. Пространственное распределение запасенного углерода в бассейне реки Сунжа за период 1992-2020 гг.. представлено на рисунке 4.11.

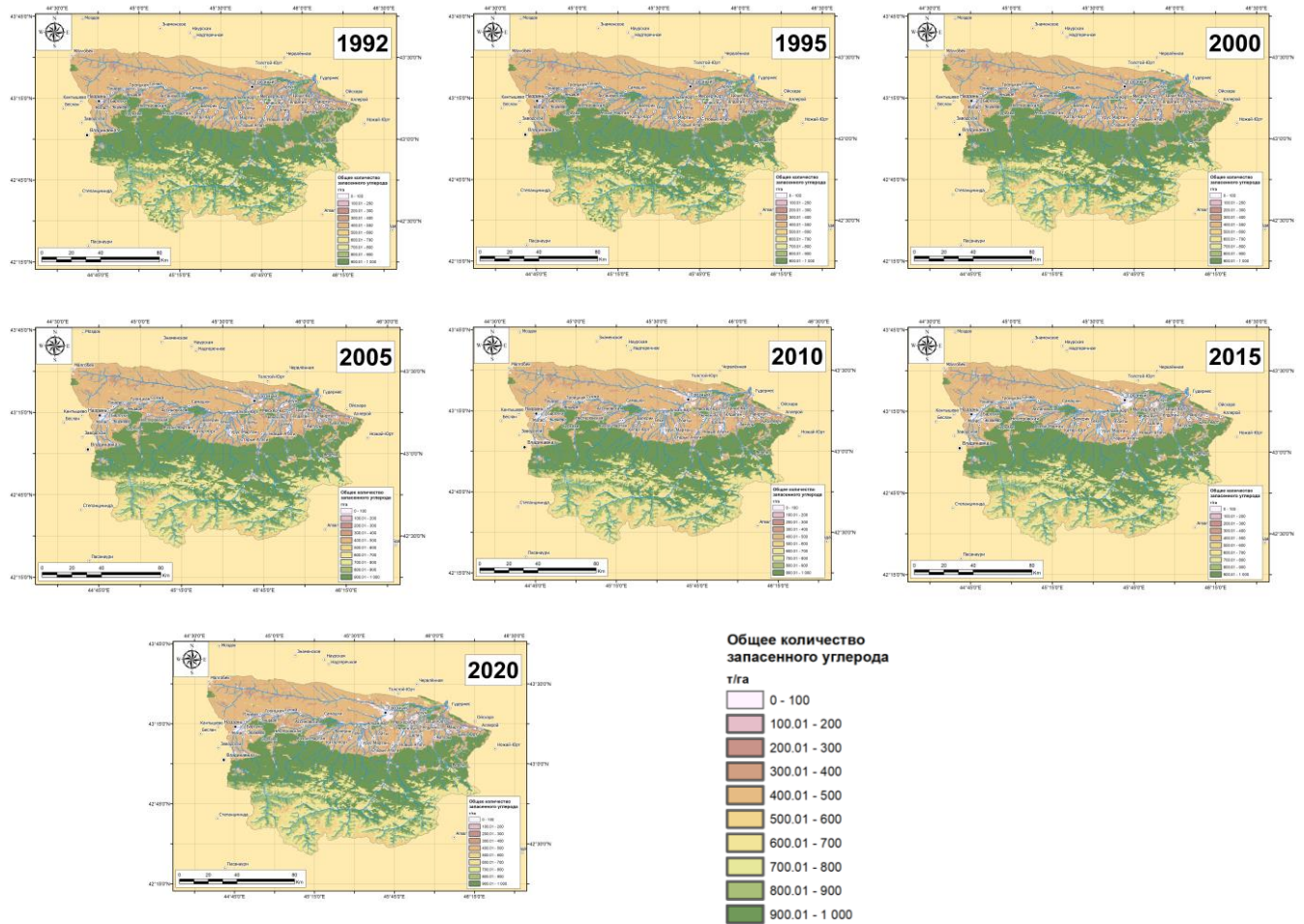


Рис. 4.11 – Пространственно-временной анализ общего количества запасенного углерода в бассейне реки Сунжа в период с 1992 по 2020 гг.

Важным фактором, определяющим пространственное распределение углерода в бассейне реки Сунжа, является рельеф (высотная поясность) и растительный покров. В ходе пространственного анализа динамики общего количества запасенного углерода в бассейне реки Сунжа за период с 1992 по 2020 год, можно сделать вывод, что наибольшие значения углерода сосредоточены в лесных массивах среднегорья, где высокая влажность способствует активному накоплению органического вещества в почвах и биомассе. В то же время низменные районы, подверженные сельскохозяйственному освоению, демонстрируют более низкие показатели.

Динамика за период исследования показывает, что изменения в использовании земель (например, сокращение лесных площадей или расширение сельскохозяйственных угодий) оказывают существенное влияние на углеродный баланс. Например, районы, подверженные активной антропогенной деятельности (такие как окрестности населенных пунктов Назрань, Гудермес), демонстрируют снижение углеродного запаса.

Анализ депонирования углерода позволяет выделить несколько ключевых закономерностей, представленных на рис. 4.12.



Рис. 4.12 – Динамика изменения общего количества углерода в бассейне реки Сунжа, с 1992 по 2020 гг., тонн.

Анализ динамики депонирования углерода в бассейне реки Сунжа за период с 1992 по 2020 годы выявляет тенденцию, исходя из которой, уровень общего запасенного углерода колеблется в пределах 124,7 тонн до 124,3 тонн. Следовательно, выраженная связь между антропогенным воздействием и динамикой экосистемной услуги не выявлена.

4.2.3. Обеспечение пресной водой

Моделирование экосистемной услуги обеспечение пресной водой в бассейне реки Сунжа проводилось с использованием инструмента InVEST. В результате исследования получены данные, которые представлены на рисунке. 4.13.

Была выявлена пространственная дифференциация для бассейна реки Сунжа – максимальные значения стока (750-1500 мм/год) характерны для лесных предгорных районов, где сохраняется естественная растительность, обеспечивающая эффективное регулирование стока, тогда как минимальные показатели (<250 мм/год) зафиксированы в равнинных сельскохозяйственных территориях (Назрань, Гудермес) и урбанизированных зонах, что обусловлено ухудшением почвенного покрова и высокой антропогенной нагрузкой.

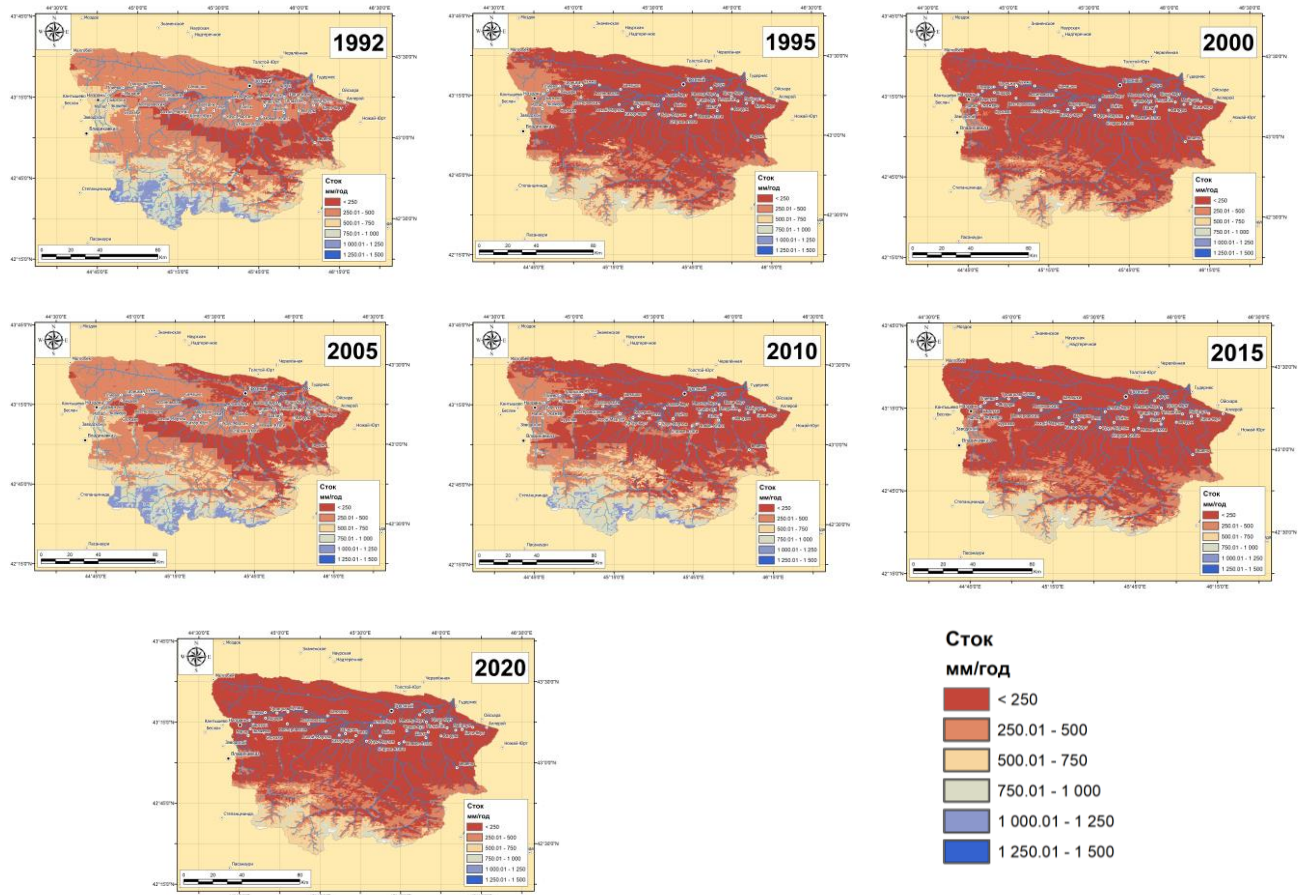


Рис. 4.13 – Пространственно-временной анализ показателя обеспечение пресной водой в пределах бассейна реки Сунжа за период с 1992 по 2020 гг.

В ходе исследования проведен анализ экосистемной услуги обеспечение пресной водой в бассейне реки Сунжа, который был выделен по трём ключевым временным периодам, результаты визуализированы на рис.4.14.

Анализ обеспечения пресной водой (мм/год) как ключевого индикатора способности экосистем бассейна реки Сунжа к регулированию стока, выявляет уменьшение данной услуги, тесно связанная с фазами вооруженного конфликта. В доконфликтный период (1992–1994 гг.), ландшафты бассейна реки демонстрировали наивысшую функциональную эффективность, обеспечивая стабильный сток (412,1 в 1992 г.), что свидетельствует о сохранности лесных массивов и естественного растительного покрова, обеспечивавших максимальную инфильтрацию и влагоудержание.

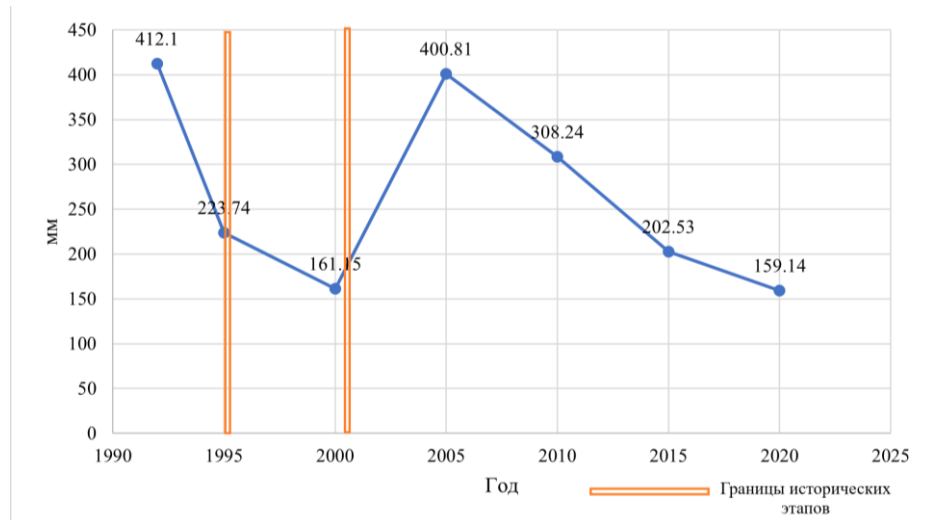


Рис. 4.14 – Динамика обеспечения пресной водой в бассейне реки Сунжа (1992–2020 гг.), мм.

Фаза активного вооруженного конфликта (1995–2002 гг.) стала периодом наиболее резкого и значительного падения регулирующей услуги: показатель стока опустился до значения 161 мм/год, что было вызвано сокращением лесного покрова по данным базы LC-CCI (рис. 3.40), пожарами и нарушением почвенного покрова, что привело к резкому увеличению поверхностного стока, эрозии и потере способности бассейна аккумулировать влагу.

В постконфликтный период (2003–2020 гг.) наблюдается восстановление показателя до уровня 400 мм/год, что связано с максимальными средними значениями выпадения осадков (рис. 3.28) за весь исследуемый период, с последующим снижением показателя, что указывает на глубокий характер ущерба.

4.2.4. Снижение риска наводнений

В ходе исследования анализируется динамика способности ландшафтов снижать риск наводнений в бассейне реки Сунжа за период 1992–2020 гг. с использованием модели InVEST. В результате исследования получены данные, представленные на (рис.4.14).

В ходе анализа индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Сунжи за период 1992–2020 гг. была выявлена пространственно-временная дифференциация с максимальным значением индекса (0.7-1.0), характерным для лесных массивов предгорных районов, где сохраняется естественная растительность. Стоит отметить, что минимальные показатели (0-0.3) зафиксированы в интенсивно сельскохозяйственных равнинных территориях и урбанизированных зонах, что обусловлено высокой антропогенной нагрузкой и деградацией почвенного покрова.

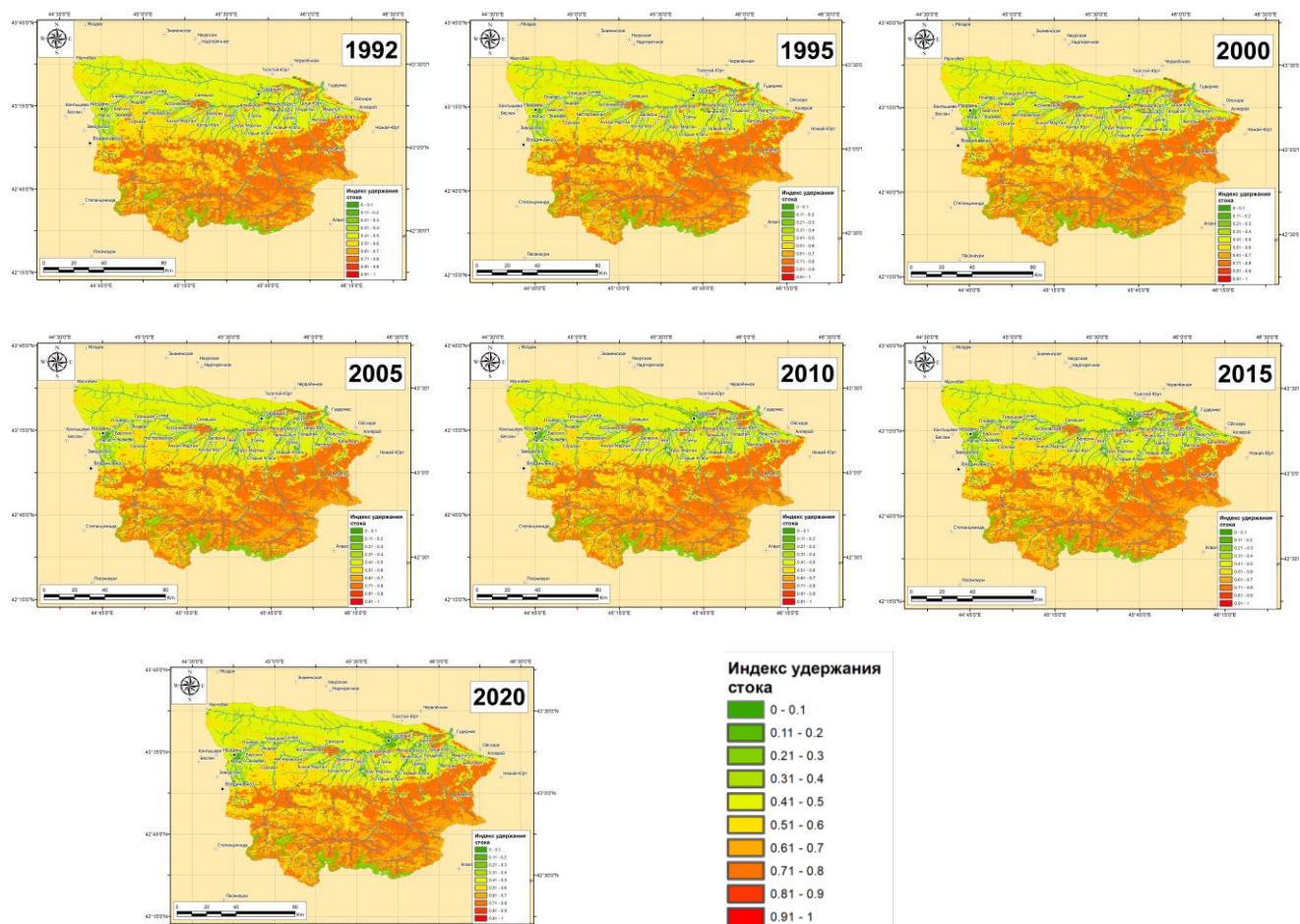


Рис. 4.14 – Пространственно-временной анализ индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Сунжи за период 1992–2020 гг.

Динамика экосистемной услуги снижение риска наводнений в бассейне реки Сунжа представлена на рис. 4.15.

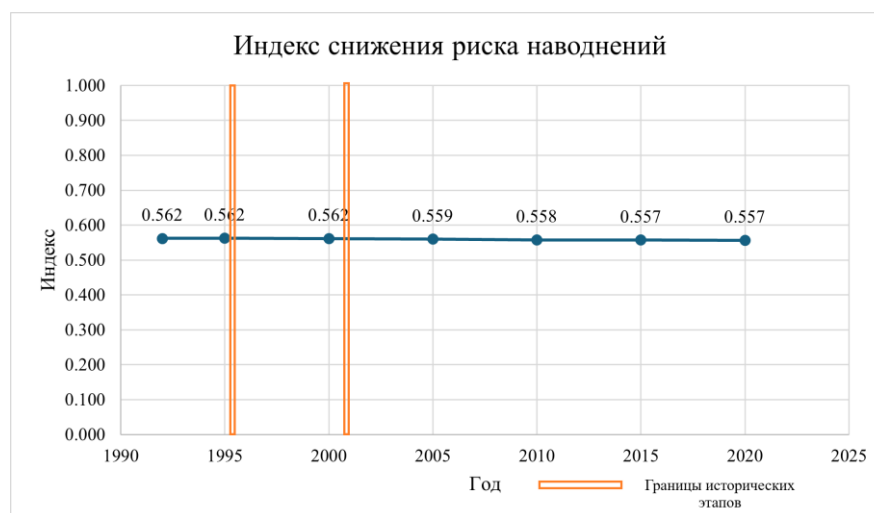


Рис. 4.15 – Динамика индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Сунжа (1992–2020 гг.).

Анализ динамики индекса снижения риска наводнений в бассейне реки Сунжа выявляет стабильность показателя, колеблющегося в узких границах 0,555-0,562. Таким образом, можно заключить, что экосистемная услуга сохранила свои ключевые характеристики и функциональную значимость без существенных изменений.

4.2.5. Изменение показателей экосистемных услуг

На основе проведенного пространственно-временного анализа регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Сунжа в разрезе трех исторических этапов можно заключить, что наиболее значительным изменениям в период активного вооруженного конфликта (1996–2002 гг.) и в постконфликтный период (2003–2020 гг.) подверглась услуга обеспечение пресной водой, о чем свидетельствуют падение показателя стока с 412,1 мм/год в доконфликтный период до 169 мм/год в фазу активного конфликта с последующим неустойчивым характером восстановления. Услуга регуляция лесного покрова демонстрирует продолжающуюся тенденцию с сокращением площади на 290,3 км² за 2001-2020 гг., однако ее динамика не может быть полностью оценена для конфликтного периода из-за отсутствия данных наблюдений. Услуга депонирования углерода показала относительную устойчивость с незначительным снижением запасов (со 124,71 до 124,31 млн т), что, однако, свидетельствует о потере потенциала депонирования, в то время как услуга снижение риска наводнений проявила наибольшую устойчивость с минимальным изменением индекса (с 0,563 до 0,556). Таким образом, наибольшего внимания и первоочередных мер восстановления требует экосистемная услуга обеспечение пресной водой.

4.3. Сравнительный анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейна реки Эль-Аси (Оронт) и бассейна реки Сунжа

Проведенный сравнительный анализ выявляет некоторые различия в реакции ключевых регулирующих экосистемных услуг двух бассейнов на антропогенное давление, в частности, связанное с вооруженными конфликтами (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа.

Аспект анализа	Бассейн реки Эль-Аси (Оронт)	Бассейн реки Сунжа
Наиболее изменившаяся услуга	Регуляция лесного покрова (резкое сокращение площадей в конфликтный и постконфликтный периоды).	Обеспечение пресной водой (резкое падение стока в период конфликта и последующее восстановление).
Динамика услуги регуляция лесного покрова	Сильное сокращение. Среднегодовая изменчивость: с 3,1 км ² до 26,8 км ² и 29,1 км ² .	Устойчивая тенденция к уменьшению. Сокращение на 290,3 км ² за 2001-2020 гг.
Динамика услуги депонирование углерода	Относительная устойчивость. Стабилизация запасов на уровне 101,5–101,9 млн т, что указывает на потерю потенциала к росту.	Относительная устойчивость. Незначительное снижение запасов со 124,71 до 124,31 млн т, что также свидетельствует о потере потенциала.
Динамика услуги снижение риска наводнений	Слабая изменчивость. Индекс колебался в узком диапазоне 0.559–0.561.	Слабая изменчивость. Минимальное изменение индекса с 0,563 до 0,556.
Динамика услуги обеспечение пресной водой	Среднегодовая изменчивость: 25,5 мм/год, 26,5 мм/год, 32,6 мм/год.	Падение стока с 412,1 мм/год до 169 мм/год с последующим неустойчивым характером восстановления.
Приоритет восстановления	Регуляция лесного покрова (как наиболее чувствительная к нарушениям и критическая для устойчивости экосистемная услуга).	Обеспечение пресной водой (как услуга, претерпевшая наиболее резкие изменения).

Сравнительный анализ демонстрирует, что последствия антропогенных кризисов вооруженных действий для экосистемных услуг носят ярко выраженный региональный

характер. В бассейне Эль-Аси (Оронт) доминирующим фактором уязвимости стало сокращение лесного покрова, тогда как в бассейне реки Сунжа наиболее изменилась экосистемная услуга обеспеченности пресной водой. Это определяет различные приоритеты для программ восстановления, которые будут подробно описаны в разделе 5.

Выводы по разделу 4

1. Анализ динамики регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) выявил выраженную пространственно-временную дифференциацию их трансформации под воздействием антропогенных и природных факторов: наиболее значительное изменение зафиксировано у услуги по регулированию лесного покрова, которая продемонстрировала связь с фазами вооруженного конфликта и требует первоочередных мер по восстановлению, в то время как услуга снижения риска наводнений и депонирования углерода сохранили относительную устойчивость, а обеспечение пресной водой показывает неопределенную тенденцию, обусловленную комплексом природно-антропогенных факторов.

2. Пространственно-временной анализ показал, что среди регулирующих экосистемных услуг бассейна реки Сунжа наиболее значительному изменению подверглась услуга по обеспечению пресной водой. Об этом свидетельствует резкое падение стока в период конфликта и его последующий неустойчивый характер восстановления. Услуга регуляции лесного покрова демонстрирует продолжающуюся снижающуюся тенденцию, а с депонированием углерода и снижением риска наводнений проявили относительную устойчивость. Таким образом, обеспечение пресной водой требует первоочередных мер по восстановлению.

РАЗДЕЛ 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

5.1. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт)

На основе проведенного пространственно-временного анализа регулирующих экосистемных услуг бассейна реки Эль-Аси (Оронт) установлено, что регуляция лесного покрова, продемонстрировавшая связь с фазами вооруженного конфликта через растущее сокращение площадей, требует первоочередных мер восстановления, таких как:

- Разработка и реализация межгосударственной программы лесовосстановления, учитывая трансграничный характер бассейна – необходима координация усилий Сирии, Турции и Ливана. Программа должна быть сосредоточена на создание «зеленого пояса» вдоль реки Эль-Аси (Оронт) для восстановления буферной зоны.

- Интеграция экосистемного и бассейнового подхода в планирование землепользования: зонирование территории для выделения и строгой охраны ключевых лесных массивов, выполняющих критически важные регулирующие функции.

Депонирование углерода, находящееся в состоянии стабильности общих запасов, нуждается в активных действиях по наращиванию потенциала через охрану существующих углеродоемких экосистем и целевые программы лесовосстановления на деградированных землях. К ним относятся:

- Сохранение и защита существующих высокопродуктивных углеродных пулов, а также создание и восстановление углеродоемких экосистем. Необходимо выделить и законодательно закрепить статус территорий с максимальной плотностью запасов углерода, выявленных в горных районах Ливана и на севере, северо-западе бассейна. Это включает борьбу с нелегальными рубками, строгое регулирование хозяйственной деятельности и создание новых охраняемых природных территорий или расширение существующих.

- Восстановление потенциала депонирования углерода - разработка и внедрение целевых программ лесовосстановления и лесоразведения на деградированных землях. Поскольку общий объем углерода перестал расти, ключевой задачей становится восстановление утраченного потенциала его накопления.

Экосистемная услуга - обеспечение пресной водой, характеризующееся значительной пространственно-временной изменчивостью, должна быть стабилизирована путем комплексного управления водосборными площадями, развития инженерно-экологических

систем и создания эффективного механизма трансграничного водного сотрудничества. Сюда относятся следующие рекомендации:

- Реализация программ по восстановлению естественной растительности, особенно на деградированных склонах и в эродированных районах.
- Создание эффективного механизма трансграничного сотрудничества между Ливаном, Сирией и Турцией для совместного управления водными ресурсами бассейна реки Эль-Аси (Оронт).
- Инженерно-экологическое обустройство территории для регулирования стока: Развитие сети малых водосборных сооружений (пруды, микроводохранилища, подземные емкости) для улавливания и хранения паводковых вод. Это позволит снизить пиковые нагрузки на реку, предотвратить эрозию и создать локальные запасы воды для орошения в сухой сезон.
- Укрепление научно-информационной базы для управления: развитие современной системы гидрологического прогнозирования и моделирования на основе ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

Экосистемная услуга снижения риска наводнений, проявившее относительную устойчивость, необходимо поддерживать на достигнутом уровне путем сохранения и усиления ключевых буферных экосистем, а также развертывания совместной системы мониторинга и раннего предупреждения на основе данных дистанционного зондирования и гидрологического моделирования, что включает:

- Сохранение и усиление ключевых буферных экосистем: придание приоритетного охранного статуса территориям с высоким значением индекса, расположенным в горных районах Ливана и северо-западной Сирии и ограничить хозяйственную деятельность, ведущую к деградации почвенно-растительного покрова (сплошные рубки, нерегулируемый выпас, застройка). Внедрение программ устойчивого управления лесами на территориях со средними значениями индекса, в частности в Турции.
- Создание совместной (Ливан, Сирия, Турция) системы мониторинга и раннего предупреждения паводков, основанной на данных дистанционного зондирования и гидрологических моделях (например, InVEST). Это позволит прогнозировать зоны затопления и оперативно реагировать на угрозы.

5.2. Бассейн реки Сунжа

Исходя из анализа регулирующих экосистемных услуг бассейна реки Сунжа, выявившего наиболее значительное изменение услуги обеспечения пресной водой,

рекомендации по устойчивому развитию территории сфокусированы на первоочередном восстановлении водного баланса:

- Разработка и принятие целевой бассейновой программы восстановления гидрологического режима реки Сунжа. Создание трансграничной системы мониторинга и управления водными ресурсами бассейна (при участии Чеченской Республики, Республики Ингушетия, Республики Дагестан и Республики Северная Осетия-Алания).

- Организация постоянного мониторинга гидрологического режима и эффективности восстановительных мероприятий с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования. Проведение детальных исследований влияния различных типов землепользования на водный баланс для оптимизации управленческих решений.

Регуляция лесного покрова, демонстрирующая тенденцию снижения количества лесов, имеет рекомендации, направленных на восстановление водорегулирующих функций, учитывая общее количество сокращающегося леса от всего объема (5%):

- Усиление охраны и устойчивое управление существующими лесами. Создание и укрепление экологических коридоров между существующими ООПТ в горных и предгорных районах для обеспечения целостности и устойчивости лесных экосистем, что важно для сохранения биоразнообразия и регулирующих услуг на уровне всего бассейна.

- Внедрение научно обоснованной системы устойчивого лесопользования на территориях, не имеющих заповедного статуса.

- Развитие экологического просвещения и вовлечение местного населения в деятельность по сохранению и восстановлению лесов.

Экосистемная услуга депонирование углерода, показавшая относительную устойчивость, имеет ключевую задачу не просто сохранения, а наращивания потенциала:

- Сохранение и увеличение существующих углеродных пулов. Приоритетная охрана высокопродуктивных углерододепонирующих экосистем среднегорья.

- Внедрение системы устойчивого лесопользования, направленной на увеличение углеродного запаса на единицу площади. Содействие естественному лесовосстановлению на нарушенных территориях.

Снижение риска наводнений, проявившее наибольшую устойчивость, требует поддерживающих мер для сохранения этого стабильного состояния.

- Совершенствование системы мониторинга и прогнозирования. Создание комплексной системы мониторинга паводковой опасности на основе ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Концепция экосистемных услуг, сформировавшаяся в конце XX века, трактуется как совокупность материальных и нематериальных благ, извлекаемых человеком из функционирования экосистем, с акцентом на их роль в поддержании социально-экономического благополучия и экологической устойчивости. В первом разделе были систематизированы научные представления об экосистемных услугах, особое значение придается регулирующим экосистемным услугам, определенным в Стратегии сохранения биоразнообразия России как особо важных, так как они имеют фундаментальную роль в стабилизации экологических условий, что создает основу для предоставления всех прочих категорий экосистемных услуг и напрямую влияет на благосостояние человека. Анализ классификационных подходов (MEA, TEEB, CICES и др.) выявил методологические различия в акцентах: зарубежные системы ориентированы на выгоды для человека, тогда как отечественные подчеркивают функциональную целостность природных систем и последствия их деградации. Это различие релевантно для постконфликтных ландшафтов, где антропогенные нарушения (беллигеративные формы рельефа, загрязнение, разрушение инфраструктуры) вызывают изменения или утрату экосистемных услуг.

2. Впервые выявлены ключевые регулирующие экосистемные услуги бассейнов рек: регуляция лесного покрова, депонирование углерода, обеспечение пресной водой, снижение риска наводнений, для которых была разработана методика комплексного анализа регулирующих экосистемных услуг. Представленный перечень ключевых регулирующих экосистемных услуг обеспечивает комплексное отображение функционирования речных бассейнов, охватывая их ключевые экологические, гидрологические и биохимические процессы. Методика анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг представляет собой интегративный подход, сочетающий современные ГИС-технологии, дистанционное зондирование и полевые исследования.

3. Уточнены физико-географические и исторические характеристика бассейнов рек. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) характеризуется выраженной трансграничностью (распределение: Сирия 69%, Турция 23%, Ливан 8%), сложным геоморфологическим строением с экстремальным перепадом высот (от -3.2 м до 3250 м), преобладанием горного рельефа (средний уклон 5.86° , максимальный $>50^\circ$), средиземноморским климатом с тенденцией к аридизации и учащением экстремальных засух, а также высокой пространственной неоднородностью почвенного покрова (доминирование маломощных ксероморфных почв –

Xerorthents, Xerochrepts) и растительности, что в сочетании с интенсивным антропогенным использованием водных ресурсов (орошение >350 тыс. га) и длительным вооруженным конфликтом (с 2011 г.) обусловило критическую уязвимость его регулирующих экосистемных услуг, особенно в зонах активных боевых действий.

Бассейн реки Сунжа отличается выраженной трансграничностью (распределение: Чеченская Республика 66%, Республика Ингушетия 22,9%, Республика Северная Осетия-Алания 4,5%, Республика Дагестан 0,8%), сложной морфоструктурной организацией с экстремальным перепадом высот (от 27 м до 4464 м), преобладанием горного рельефа (средний уклон 9.4 м/км, максимальный >75°), континентальным климатом с тенденцией к потеплению (+0.3-0.4°C/декаду) и учащением экстремальных паводков, а также высокой пространственной дифференциацией почвенного покрова (доминирование каштановых и бурых лесных почв) и растительности, что в условиях интенсивной антропогенной нагрузки (и последствий вооруженных конфликтов (1994-2009 гг.) обусловило значительную деградацию его гидроэкологических функций, особенно в зонах активного хозяйственного освоения.

4. Результаты комплексного исследования пространственно-временного анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг в бассейнах рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа, позволили выявить закономерности трансформации ландшафтов под влиянием природных и антропогенных факторов. Анализ динамики регулирующих экосистемных услуг в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) выявил выраженную пространственно-временную дифференциацию их трансформации под воздействием антропогенных и природных факторов: наиболее значительное изменение зафиксировано у услуги по регулированию лесного покрова, которая продемонстрировала связь с фазами вооруженного конфликта и требует первоочередных мер по восстановлению, в то время как услуга снижения риска наводнений и депонирование углерода сохранили относительную устойчивость, а обеспечение пресной водой показывает неопределенную тенденцию, обусловленную комплексом природно-антропогенных факторов. Пространственно-временной анализ показал, что среди регулирующих экосистемных услуг бассейна реки Сунжа наиболее значительному изменению подверглась услуга по обеспечению пресной водой. Об этом свидетельствует резкое падение стока в период конфликта и его последующий неустойчивый характер восстановления. Услуга регуляции лесного покрова демонстрирует продолжающуюся снижающуюся тенденцию, а депонирование углерода и снижение риска наводнений проявили относительную устойчивость. Таким образом, обеспечение пресной водой требует первоочередных мер по восстановлению.

5. На основании проведенного анализа ключевых регулирующих экосистемных услуг бассейнов рек Эль-Аси (Оронт) и Сунжа, выявившего их динамику в условиях вооруженных конфликтов, впервые сформулированы рекомендации по устойчивому развитию данных

территорий. Для бассейна реки Эль-Аси, где конфликт оказал наиболее значительное воздействие, установлена зависимость между фазами вооруженного противостояния и прогрессирующего уменьшения экосистемной услуги – регуляция лесного покрова, что требует безотлагательных мер по ее восстановлению. Важной становится разработка межгосударственной программы лесовосстановления с координацией усилий Сирии, Турции и Ливана, направленной на создание «зеленого пояса» и внедрение бассейнового подхода в планирование землепользования. Несмотря на относительную стабильность общих запасов углерода, необходимы активные действия по сохранению существующих углеродоемких экосистем и наращиванию потенциала депонирования через целевое лесовосстановление. Значительная пространственно-временная изменчивость в обеспечении пресной водой диктует необходимость комплексного управления водосборными площадями, включая инженерно-экологическое обустройство территории и создание эффективного механизма трансграничного водного сотрудничества. Услуга снижения риска наводнений, проявившая относительную устойчивость, должна поддерживаться через сохранение буферных экосистем и развертывание совместной системы мониторинга и раннего предупреждения.

Применительно к бассейну реки Сунжа рекомендации сфокусированы на восстановлении водного баланса, который претерпел наиболее значительные изменения. К первоочередным мерам отнесены разработка целевой бассейновой программы и создание трансграничной системы мониторинга водных ресурсов. Тенденция к снижению площади лесного покрова определяет необходимость усиления охраны существующих лесов, создания экологических коридоров и внедрения устойчивого лесопользования для восстановления их водорегулирующих функций. Для услуги депонирования углерода, также показавшей устойчивость, ключевой задачей является не только сохранение, но и наращивание углеродных пулов через приоритетную охрану высокопродуктивных экосистем и содействие естественному лесовосстановлению. Поддерживающие меры для услуги снижения риска наводнений включают совершенствование системы мониторинга и прогнозирования на основе современных геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования. Таким образом, реализация предложенных рекомендаций, основанных на выявленной динамике экосистемных услуг, будет способствовать достижению экологической стабильности и устойчивому развитию исследуемых бассейнов в постконфликтный период.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Абдурахманов, Г.М.* Историко-фаунистическая и зоогеографическая характеристика млекопитающих Кавказа / Г.М. Абдурахманов, А.М. Батхиев // Юг России: экология, развитие. — 2013. — N 3. — С. 34-57.
2. Анализ наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) в 2021 г.: сравнение баз данных Esri Land Cover и ESA WorldCover / А. А. Никифорова, В. А. Табунщик, Т. Ю. Горбунова, Р. В. Горбунов // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. Ч. 3. Цифровая реальность в геодезии, картографии и дистанционном зондировании Земли. Проблемы геологии. — С. 132-136.
3. Анализ стандартизированных аномалий температуры воздуха на территории Крымского полуострова / А. В. Дрыгваль, А. А. Келип, Р. В. Горбунов, П. В. Дрыгваль, В. А. Табунщик // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Междунар. ландшафт. конф., 17–21 мая, 2023 г., Воронеж: в 2-х т. — Воронеж: ВГУ, 2023. — Т. 2. — С. 219-221.
4. *Асхабова, Х. Н.* Экологический контроль загрязнения реки Сунжа на территории чеченской республики / Х. Н. Асхабова, М. С. Оздыханов, Г. Д. Солтамурадов // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 3-2. — С. 111-116.
5. *Ахмиева, Р. Б.* Обеспеченность водными ресурсами и формирование водного баланса в меняющихся условиях (на примере Шалинского района) / Р. Б. Ахмиева, Н. Г. Гаджиев // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. — Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. — С. 53-56.
6. *Батхиев, А.М.* Местная фауна (животные Чеченской Республики) / А.М. Батхиев. — Грозный, 2009. — 160 с.
7. *Батхиев, А.М.* Состав, структура, показатели разнообразия и зоогеографические особенности териофауны Терского Кавказа (в пределах Чечни и Ингушетии) / А.М. Батхиев // Рефлексия, № 3.-Назрань: Пилигрим, 2015-С 3-18(1, 1 п.л.) 22 25. Юг России. Экология, развитие. Том 10, № 1. — Махачкала: изд-во «Камертон», 2015. — С. 160-170.

8. *Бацигов, С. Х. Р.* Ландшафтно-геоморфологические условия формирования климата восточной части Северо-Чеченской низменности / С. Х. Р. Бацигов, И. Н. Гумаев, А. Н. Дамаев // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. – Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. – С. 68-70. – DOI 10.36684/148-1-2024-68-70. – EDN XACXBR.
9. *Белюченко, И. С.* Экология Краснодарского края (Региональная экология): учебное пособие / И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 356 с.
10. *Бобылев, С. Н.* Экосистемные услуги и экономика / С. Н. Бобылев, В. М. Захаров. — М.: ООО «Типография ЛЕВКО». Институт устойчивого развития. Центр экологической политики России, 2009. — 72 с.
11. *Бобылев, С. Н.* Оценка и внедрение системы платежей за экосистемные услуги на особо охраняемых природных территориях / С. Н. Бобылев, Р. А. Перелет, С. В. Соловьева. — Волгоград: ПРООН, 2012. — 176 с.
12. *Бобылев, С.Н.* Экосистемные услуги. Человек и природа/ С.Н. Бобылев, В.М. Захаров. – М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБР РАН. Центр экологической политики России, 2015. – 100 с.
13. *Букварева, Е. Н.* Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Том 1 Услуги наземных экосистем / Е. Н. Букварёва, Д. Г. Замолотчиков. — Москва: Издательство Центра охраны дикой природы, 2016. — 148 с.
14. *Вагапова, А. Б.* Беллигеративные ландшафты как результат деградации природных ландшафтов в ходе действия военных компаний в Чеченской Республики / А. Б. Вагапова // Природопользование и устойчивое развитие регионов России: Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 15–16 июня 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 234-238. – EDN RSQXHY.
15. Война с природой. Круглый стол // Экология и жизнь. — 2003. — № 3. — С. 47.
16. В Турции в 2020 году выгорела площадь лесов, равная почти 30 тыс. футбольных полей [Электронный ресурс]. — URL: <https://mk-turkey.ru/life/2021/03/01/futbolnyh-polej.html> (17.05.2024).
17. Выделение границ водосборных бассейнов горных рек с использованием цифровых моделей рельефа: современное состояние и проблемы / В. А. Табунщик, П. М. Джамбетова, Р. В. Горбунов, Т. Ю. Горбунова, А. А. Никифорова, А. В. Дрыгваль, И. А. Керимов, М. В. Киселева // Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования : материалы докл. I

Междунар. науч. конф., 25 октября 2024 г., Севастополь, Россия. — Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2024. — С. 69-73.

18. Гагарина, Е. С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов / Е. С. Гагарина // Архитектура и современные информационные технологии. – 2023. – № 1(62). – С. 228-247. – DOI 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247. – EDN YICSUR.

19. Гасанов, А. Р. Почвенный покров Юго-Восточного склона Кавказа / А. Р. Гасанов, Р. Р. Абдусаламова // Вестник Социально-педагогического института. – 2019. – № 4(32). – С. 7-11. – EDN JDGKKC.

20. Герасимова, М. И. Сравнение структуры и структуры группы почв России и международной почвенной группы; Мировая реферативная база почвенных ресурсов. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и составления легенд почвенных карт: пер. с англ. Софии Фортовой. Науч. ред. пер. М.И. Герасимовой, П.В. Красильникова. – 4-е издание. Международный союз наук о почве, Москва, 2024. – Москва: МАКС Пресс, 2024. – 248 с. — ISBN 978-5-317-07235-3. — <https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>

21. Гумаев, И. Н. История формирования и современное состояние ландшафтов степной зоны Чеченской Республики / И. Н. Гумаев, С. Х. Р. Бацигов, Э. А. Яумиева // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. – Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. – С. 153-156. – DOI 10.36684/148-1-2024-153-156. – EDN LUUPAW.

22. Дегтярева, Н. А. Чеченский вооруженный конфликт 1994-1996 гг / Н. А. Дегтярева, Д. С. Трушин // Шаг в науку. – 2022. – № 3. – С. 111-113. – EDN UNFCNQ.

23. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2022 гг. / В. А. Табунщик, А. А. Никифорова, Н. П. Линева, Н. Ю. Мирзоева, Г. С. Черный, И. А. Керимов, Л. Ш. Махмудова, З. Ш. Гагаева, Я. О. Андрончик // Биоразнообразие и устойчивое развитие. — 2023. — Т. 8, № 3. — С. 40-55. — <https://doi.org/10.21072/eco.2023.27.04>

24. Ергина, Е. И. Географический анализ допустимых норм эрозии почв в агроландшафтах Крымского полуострова / Е. И. Ергина, Р. В. Горбунов, А. Д. Щербина. — Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. — 180 с. ISBN 978-5-907032-99-6

25. Ергина, Е.И. Моделирование мощности гумусового горизонта почв равнинного Крыма для целей выделения почвенных эталонов / Е.И. Ергина, Р.В. Горбунов// Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/11/72296> (дата обращения: 13.09.2025).

26. *Заурбеков, Ш. Ш.* Оценка изменений современных агроклиматических условий природных ландшафтов Чеченской Республики / Ш. Ш. Заурбеков, Л. Р. Бекмурзаева, В. В. Братков // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2016. – Т. 10, № 2. – С. 83-92. – EDN WXOVOF.
27. *Звягинцев, Д. Г.* Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобактерий / Д. Г. Звягинцев, Г. М. Зенова, Т. А. Грачёва // Теоретическая и прикладная экология. — 2011. — No 1.
28. *Зиновьева, А. Е.* К вопросу классификации экосистемных услуг / А. Е. Зиновьева // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2020. – № 1(56). – С. 5-13. – DOI 10.24411/2410-1192-2020-15601. – EDN JNGHOM.
29. *Злобина, В. Л.* Состояние гидроэкосистемы национального парка «Лосиный остров» / В. Л. Злобина, В. В. Киселева // Водные ресурсы. — 2008. — Т. 35. № 1. — С. 81–87.
30. *Зотеева, О. А.* К вопросу о рациональном использовании лесов и потерях древесного сырья / О. А. Зотеева, А. В. Касторнова, О. А. Фомина // Агропромышленный комплекс в ногу со временем: Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 15 нояб. 2023 г. — Тюмень: ГАУСЗ, 2023. — С. 93–98. — EDN: IGSJTX.
31. Информационное агентство [Электронный ресурс]. — URL: http://ria.ru/arab_riot/20130916/963359396 (дата обращения: 20.11.2023).
32. *Каберова, Е. Б.* Приоритетные направления внешней политики РФ на Ближнем Востоке / Е. Б. Каберова // Правовые и социально-экономические аспекты защиты Отечества: материалы научно-практической конференции, Москва, 19 февраля 2016 года. – Москва: Международный юридический институт, 2016. – С. 124-129. – EDN WIESQB.
33. Карта почв: атлас [Электронный ресурс] // Triptonkosti.ru. — URL: <https://triptonkosti.ru/19-foto/karta-pochv-atlas.html> (дата обращения: 20.11.2023).
34. Количество беженцев из Сирии достигло критической отметки [Электронный ресурс]. — URL: <http://hronika.info/mir/> (дата обращения: 07.02.2023).
35. Комплексный подход к оценке изменений в землепользовании и их влияния на динамику углерода в горных ландшафтах Чеченской Республики / А. Н. Гуня, У. Т. Гайрабеков, Л. Ш. Махмудова, Ф. Д. Алахвердиев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 39-52. – DOI 10.31161/1995-0675-2021-15-4-39-52. – EDN JJZRQY.
36. Концепция внешней политики Российской Федерации от 12 февраля 2013 г. [Электронный ресурс]. — URL: <http://archive.mid.ru/> (дата обращения: 12.01.2023).
37. *Кузьмин, В.* Горячие точки / В. Кузьмин // Российская газета. — 2010. — № 75. — С. 1-2.

38. *Кузьмичев, Е. П.* Основные методические подходы к оценке экосистемных услуг в зарубежных странах: обзор проблемы / Е. П. Кузьмичев, И. Г. Трушина, Н. И. Трушина // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 1. – С. 144-164. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.10. – EDN YYDQYY.
39. Ландшафтно-геоэкологический каркас бассейна реки Сунжа / А. Н. Гуня, И. А. Керимов, У. Т. Гайрабеков, А. А. Никифорова // Устойчивое развитие горных территорий. — 2024. — Т. 16, № 4(62). — С. 1450–1459. — DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1450-1459. — EDN: JCOZOC.
40. *Лелькова, А. К.* Оценка экосистемных функций национального парка «Лосиный остров» / А. К. Лелькова, А. А. Пакина // Экосистемы: экология и динамика. — 2020. — Т. 4. № 3. — С. 166–179.
41. Лесной план Чеченской Республики на 2019–2028 годы [Электронный ресурс]. — 2019. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/553236481> (дата обращения: 17.05.2025).
42. *Липина, С.* Чеченская Республика: экономический потенциал и стратегическое развитие [Электронный ресурс] / С. Липина. — 2007. — URL: <https://ssrn.com/abstract=2192561> (дата обращения: 15.06.2025).
43. *Литвинова, А. А.* Понятие экосистемных функций и услуг / А. А. Литвинова, М. Н. Игнатьева, Г. Д. Коротеев // Экономика и социум. – 2016. – № 3(22). – С. 714-723. – EDN WDKHJX.
44. *Лукьянчиков, Н. Н.* Экономика и организация природопользования: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению 521600 «Экономика» / Н. Н. Лукьянчиков, И. М. Потравный. - Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. - 591 с.
45. *Лурье, П. М.* Водные ресурсы и водный баланс Кавказа / П. М. Лурье. — С.П.: Гидрометиздат, 2002. - 500 с.
46. *Масаева, Л. М.* Река Сунжа: гидробиология, гидрохимия, экология (Чеченская Республика): монография / Л. М. Масаева, П. С. Цамаева. – Астрахань: Изд. Сорокин Роман Васильевич, 2010. – 121 с. – ISBN 978-5-903285-92-1. – EDN QKJGMV.
47. *Мацаев, С. Б.* Природно-климатические факторы и экологический потенциал ландшафтов территории Чеченской Республики / С. Б. Мацаев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. — 2012. — №2. — С. 108-111.
48. *Медведева, О. Е.* Методы экономической оценки биоразнообразия. Теория и практика оценочных работ / О. Е. Медведева. - Москва: Изд-во Диалог-МГУ, 1998. - 90 с.
49. *Меликова, С.* Первая российско-чеченская война (1994-1996): источники и факторы этнической мобилизации / С. Меликова // Кавказ и глобализация. – 2012. – Т. 6, № 3. – С. 84-93. – EDN KETFID.

50. *Микрюков, В. О.* Международная защита жертв вооруженных конфликтов (анализ конфликта в Сирийской Арабской Республике) / В. О. Микрюков, И. А. Попов // Правовые и социально-экономические аспекты защиты Отечества: материалы научно-практической конференции, Москва, 19 февраля 2016 года. – Москва: Международный юридический институт, 2016. – С. 130-136. – EDN WIESQL.
51. *Мильков, Ф. Н.* Человек и ландшафты / Ф. Н. Мильков. — М.: Мысль, 1973. — 94 с.
52. Мониторинг экологического состояния рек Чеченской Республики / М. Ш. Саидова, Х. Н. Асхабова, М. С. Оздыханов, К. А. В. Шуаипов // Юг России: экология, развитие. – 2012. – Т. 7, № 4. – С. 113-115. – EDN PYHOIL.
53. *Нагалеvский, Э. Ю.* Физическая география Краснодарского края: учебное пособие / Э. Ю. Нагалеvский, Ю. Я. Нагалеvский, Е. В. Голубятникова. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2023. – 403 с. – ISBN 978-5-8209-2314-2. — URL: https://ciaotest.cc.columbia.edu/journals/riia/v90i4/f_0032205_26201.pdf (дата обращения: 05.08.2025).
54. *Нарыкова, А. Н.* Картографирование экосистемных услуг на локальном уровне: обзор современного состояния исследований / А. Н. Нарыкова, А. С. Плотникова // Вопросы лесной науки. – 2022. – Т. 5, № 3. – С. 49-82. – DOI 10.31509/2658-607x-202252-110. – EDN PVSMSX.
55. Национальный атлас почв Российской Федерации. — М.: Астрель: АСТ, 2011. — 632 с.
56. Национальная Стратегия сохранения биоразнообразия России. — М.: 2001. — 76 с.
57. *Никифорова, А. А.* Анализ основных морфометрических характеристик водосборного бассейна реки Эль-Аси (Оронт) / А. А. Никифорова, В. А. Табунщик // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2025. – Т. 11, № 2. – С. 153-167.
58. *Никифорова, А. А.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) / А. А. Никифорова, В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. уч. (Махачкала, 18–20 сент. 2024 г.). – Москва: ИИЕТ РАН, 2024. – Т. 14. – С. 501–506. – DOI: 10.25744/1.2024.58.26.075.
59. Новостное интернет-издание [Электронный ресурс]. — URL: <http://lenta.ru/news/2013/05/27/iraqis/> (дата обращения: 20.11.2023).

60. Объяснение «зон деэскалации» в Сирии [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.aljazeera.com/news/2017/05/syria-de-escalation-zones-explained-170506050208636.html> (дата обращения: 24.08.2022).
61. Овдиенко, Р. В. Особенности микрофлоры почв Северо-Западного Кавказа: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Овдиенко Роман Владимирович. — Ростов н/Д, 2003. — 150 с.
62. Оронт (река) [Электронный ресурс] // Планета Земля. Историческая география. — URL: <https://geosfera.org/aziya/2445-oront-reka.html> (дата обращения: 22.11.2023).
63. Официальный сайт Петербургского международного экономического форума [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.forumspb.com/ru/2015> (дата обращения: 15.01.2016).
64. Оценка геоэкологических последствий современных изменений климата полупустынных ландшафтов Северного Кавказа / З. В. Атаев, В. В. Братков, Т. Р. Балгуев, Ш. Ш. Заурбеков // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. — 2010. — № 2(11). — С. 89-94.
65. Оценка экосистем на пороге тысячелетия [Электронный ресурс]. — URL: <http://milenumassessment.org/document/MS A%20framework%20Assessment rus.pdf> (дата обращения: 29.11.2024).
66. Партнерство в области окружающей среды и безопасности: конфликты и окружающая среда, 2007 [Электронный ресурс]. — URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2007/ece/cep/ac.11/ece.cep.ac.11.2007.12.r.pdf> (дата обращения: 29.04.2025).
67. Перелет, Р. А. Социально-экономические и правовые основы сохранения биоразнообразия / Р. А. Перелет. — Москва: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. — 420 с.
68. Перспективы нефтегазоносности формации Шираниш в бассейне Евфрата (восточная Сирия) / А. Салех, С.Ф. Хафизов, А.С. Курушина, К.И. Данцова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2025. — Т.20, №3. — https://www.ngtp.ru/rub/2025/29_2025.html EDN: LXAUJQ
69. Плотников, Н.Д. Для мира на Ближнем Востоке соседям надо договариваться [Электронный ресурс] — URL: <https://www.ivran.ru/articles?artid=210168> (08.07.2024).
70. Погода и климат [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=sy> (дата обращения: 05.04.2025).
71. Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». — М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015. — 124 с.

72. Пузаченко, Ю. Г. Экосистемные услуги: оценка и картографирование [Электронный ресурс] / Ю. Г. Пузаченко. — 2012. — URL: http://www.sevin.ru/ecosys_services/ (дата обращения: 01.04.2022).
73. Реки Ближнего Востока. Ч. 1. Ефрат, Оронт / Науч.-информ. центр Межгос. координац. водохозяйств. комис. Центр. Азии; ред. Мухина Е. — Ташкент: НИЦ МКВК, 2015. — 80 с. — (Информ. сб; № 42).
74. Розенберг, А. Г. К вопросу определения экосистемных услуг и природного капитала / А. Г. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 195-198. — EDN XBWADF.
75. Российские военные отстояли от природного пожара населенный пункт в Сирии [Электронный ресурс]. — URL: <https://tass.ru/obschestvo/11888731> (дата обращения: 07.09.2023).
76. Руководство по экономической оценке экосистемных услуг, связанных с водными ресурсами [Электронный ресурс]. — 2013. — URL: https://carecoco.org/en/dev/%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4_%D1%80%D1%83%D1%81_2013.pdf (дата обращения: 09.08.2024).
77. Русская служба Би-би-си [Электронный ресурс]. — URL: http://www.bbc.co.uk/russian/rolling_news/2013/04/130427_ru_syria_foreign_mercenary (дата обращения: 20.11.2023).
78. Рысбеков, Ю. Х. Информационный сборник №46. Управление водными ресурсами в Турции / Ю. Х. Рысбеков, А. Ю. Рысбеков. — Ташкент, 2015. — URL: <http://cawater-info.net/library/rus/inf/46.pdf> (дата обращения: 16.08.2024).
79. Рычагов, Г. И. Общая геоморфология: учебник / Г. И. Рычагов. — Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2006. — 416 с. — EDN RBBIEN.
80. Самер Б. Валовое содержание микроэлементов в коричневых почвах Сирии / Бриша Самер, В. Г. Мамонтов, Р. А. Афанасьев // Плодородие. — 2008. — № 4(43). — С. 3. — EDN KUCMCD.
81. Семенюк, О.В. Оценка стоимости экосистемных услуг природного парка «Битцевский лес» / О.В. Семенюк, К.С. Бодров, Г.В. Стома // Вестник Московского университета. Почвенные науки, 2019. — 74. С. 111–117. <https://doi.org/10.3103/S0147687419030074>
82. Состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024 год [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/88f/%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80%20>

%D0%B7%D0%B0%202024%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4_300625.pdf (дата обращения: 01.02.2025).

83. С сентября по октябрь 2020 года в Сирии зафиксировали 187 лесных пожаров, которые сначала связали с аномально высокими температурами [Электронный ресурс]. — URL: <https://sputnik.by/20211022/v-sirii-kaznili-24-podzhigateley-lesov-1057375253.html> (дата обращения: 24.09.2023).

84. Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации [Электронный ресурс]. — 2014. — URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nbsap-v2-ru.pdf> (дата обращения: 03.02.2024).

85. *Суховольский, В. Г.* Оценка и оптимизация экологических услуг насаждений как задача нелинейного программирования / В. Г. Суховольский, Ю. Д. Иванова, А. В. Ковалев // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН, Москва, 25–29 апреля 2022 года. – Москва: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2022. – С. 109-111. – EDN WQUUFQ.

86. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек (российская часть бассейна) [Электронный ресурс]. — URL: <https://zkbvu.ru/upload/medialibrary/ee7/ee749f748202fb28fcd13535f9b56147.pdf> (дата обращения: 20.11.2024).

87. *Табунщик, В. А.* Значения NDVI в феврале-мае 2017 года на территории Раздольненского района Республики Крым (по данным спутниковых снимков Sentinel-2) / В. А. Табунщик, Е. А. Петлюкова // Ландшафтная география в XXI веке : Материалы Международной научной конференции, Симферополь, 11–14 сентября 2018 года / Под редакцией Е.А. Позаченюк. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2018. – С. 379-381. – EDN XWXAVN.

88. *Табунщик, В. А.* Оценка геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор: дис. ... канд. геогр. наук: 1.6.21 - Геоэкология / Табунщик Владимир Александрович. — Ставрополь, 2024. — 290 с. — EDN WPJYND. (Удалить оставить только монографию ниже, проверить ссылку в тексте и заменить на монографию)

89. *Табунщик, В. А.* Оценка геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор / В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2025. – 224 с. – ISBN 978-5-907983-04-5. – EDN SAECRM.

90. *Тихонова, Т. В.* Современные методы оценки экосистемных услуг и потенциал их применения на практике / Т. В. Тихонова // Известия Коми научного центра УрО РАН. — 2018. — № 4 (36). — С. 122–135.

91. *Тишков, А. А.* Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России / А. А. Тишков // Аридные экосистемы. — 2010. — Т. 16. №4. — С. 5-15.
92. *Чернышев, К. Э.* Гражданская война в Сирии: причины войны и пути решения кризиса / К. Э. Чернышев // Наука и образование: проблемы и тенденции развития : Материалы Международной научно-практической конференции: в 3-х частях, Уфа, 20–21 декабря 2013 года / Редколлегия: Искужин Т.С. (ответственный редактор), Идельбаев М.Х., Кабакович Г.А., Зайнуллина Г.Ш., Тухватуллин Т.А., Абакачева М.Б., Нигматуллин О.Б. (отв. секретарь). – Уфа: Автономная некоммерческая организация "Исследовательский центр информационно-правовых технологий", 2013. – С. 340-342. – EDN SLKYVP.
93. *Экономическая оценка биоразнообразия / С. Н. Бобылев, О. Е. Медведева, В. Н. Сидоренко, С. В. Соловьева, А. В. Стеценко, А. В. Жушев.* — М., 1999. — 112 с.
94. *Экосистемные услуги [Электронный ресурс].* — 2012. — URL: https://turkstream.info/r/34BFA365-69CE-43B2-866D-BE6DCC27A3D5/ssstbv_ru_esia_17_web_ru_ru_20140707.pdf (дата обращения: 18.08.2024).
95. *Экосистемные услуги России. Ключевой компонент национального благополучия [Электронный ресурс].* — URL: https://teeb.biodiversity.ru/publications/Prototype_for_decision-makers_V2_rus.pdf (дата обращения: 17.03.2025).
96. *Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report [Электронный ресурс].* — Москва: Центр охраны дикой природы, 2013. — 45 с. — URL: https://catalog.ipbes.net/system/assessment/246/references/files/743/original/Status_Quo_Report_2013_sm.pdf?1434470285 (дата обращения: 13.02.2024).
97. *Экосистемные услуги национальных парков и заповедников: оценка, сопоставление, выявление конфликтов при пользовании / А. А. Тишков, Е. А. Белоновская, А. Н. Кренке, Н. Г. Царевская // Материалы меж. конф., Геоэкологические проблемы степных регионов: Институт степи Уральского отделения РАН, 2017. — С. 60–70.*
98. *Юрак, В. В.* Теоретико-методологические основы оценки экосистемных услуг : дис. д-ра экон. наук: 08.00.05 / Юрак Вера Васильевна. — 2022. — 398 с. — EDN VGSSET.
99. *Юрак, В. В.* Против устойчивого развития: сценарии будущего / В. В. Юрак, А. В. Душин, Л. А. Мочалова // Записки Горного института. — 2020. — Т. 242. — С. 242-247. — DOI 10.31897/PMI.2020.2.242. — EDN OVVKUO.
100. *A baseline survey of potentially toxic elements in the soil of north-west Syria following a decade of conflict / Miassar Alhasan, Abdulkarim Lakmes, Mohammad Alobaidy, Safwan Alhaiek, Muhammed Assaf, Lorna Dawson, Duncan Pirrie, Ziad Abdeldayem, Jonathan Bridge // Environmental Science: Advances.* — 2023. — Vol. 2. — DOI: 10.1039/D2VA00333C.

101. A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms / M. Rutgers, H. Wijnen, T. Schouten, C. Mulder, A. Kuiten, L. Brussaard, A. Breure // *Science of The Total Environment*. — 2012. — Vol. 415. — P. 39–48. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.041.
102. *Allan, J. D.* Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems / J. D. Allan // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. — 2004. — Vol. 35. — P. 257–284.
103. Assessing the impact of anthropogenic and natural factors on soil-related ecosystem services: a case study of the coastal landscape of Djibouti / A. Nikiforova, V. Tabunshchik, C. N. Pham, G. Chernyi, N. Lineva, R. Gorbunov, T. Gorbunova, A. Repetskaya // *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. — 2025. — Vol. 12, no. 4. — P. 8335–8349. — DOI: 10.15243/jdmlm.2025.124.8335.
104. *Andrews, S. S.* A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California / S. S. Andrews, D. L. Karlen, J. P. Mitchell // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. — 2002. — Vol. 90, iss. 1. — P. 25–45. — DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00174-8.
105. A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration / K.G. Turner, S. Anderson, M. Gonzales-Chang, R. Costanza [et al.] // *Ecol. Model.* – 2016. – 319, 190–207.
106. *Atlas of the Orontes River Basin* / eds: R. Jaubert [et al.]; Graduate Inst. of Intern. and Development Studies. — 2nd ed. — [Geneva: s. n.], 2022. — 72 p.
107. *Baer, S.* Soil ecosystem services: an overview. Managing soil health for sustainable agriculture / S. Baer, H. Birgé // *Volume 1*. — p.17-38. — 2018. 201810.19103/AS.2017.0033.02.
108. *Bagstad, K. J.* A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation / K. J. Bagstad, D. J. Semmens, S. Waage, R. Winthrop // *Ecosystem Services*. — 2013. — Vol. 5. — e27-e39.
109. *Bark, R. H.* Integrated valuation of ecosystem services obtained from restoring water to the environment in a major regulated river basin / R. H. Bark [et al.] // *Ecosystem Services*. — 2016. — Vol. 22, part B. — P. 381–391. — DOI: 10.1016/j.ecoser.2016.08.002.
110. *Bayramova, L.* Environmental damages of natural components of Karabakh region of Republic of Azerbaijan / L. Bayramova // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. — 2024. — Vol. 33, iss. 2. — P. 252–262. — DOI: 10.15421/112423.
111. *Beg, A. A. F.* Morphometric toolbox: A new technique in basin morphometric analysis using ArcGIS / A. A. F. Beg // *Glob. J. Earth Sci. Eng.* — 2015. — Vol. 2. — P. 21–30.

112. *Burkhard, B.* Mapping ecosystem service supply, demand and budgets / B. Burkhard, F. Kroll, S. Nedkov, F. Müller // *Ecological Indicators*. — 2012. — Vol. 21. — P. 17–29. — DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.019.
113. *Bose, S.* Urban flood risk assessment and mitigation with InVEST-UFRM model: a case study on Kolkata city, West Bengal state (India) / S. Bose, A. Mazumdar // *Arab J Geosci*. — 2023. — Vol. 16. — Art. nr 320. — 18 p. — DOI: 10.1007/s12517-023-11412-2.
114. *Brauman, K.* Ecosystem Services and River Basin Management / Kate Brauman, Suzanne van der Meulen, Jos Brils // *Handbook of Engineering Hydrology: Environmental Hydrology and Water Management* / ed. by S. Eslamian. — Boca Raton: CRC Press, 2014. — Ch. 10. — DOI: 10.1007/978-3-642-38598-8_10.
115. *Chaaban, F.* Accuracy assessment of ESA WorldCover 2020 and ESRI 2020 land cover maps for a region in Syria / F. Chaaban, J. El Khattabi, H. Darwishe // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. — 2022. — Vol. 6, iss. 2. — Art. nr 31. — 23 p. — DOI: 10.1007/s41651-022-00126-w.
116. Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.chc.ucsb.edu/data> (дата обращения: 25.05.2025).
117. *Congalton, R. G.* Global land cover mapping: a review and uncertainty analysis / R. G. Congalton, J. Gu, K. Yadav, P. Thenkabail, M. Ozdogan // *Remote Sensing*. — 2014. — Vol. 6, iss. 12. — P. 12070–12093. — DOI: 10.3390/rs61212070.
118. *Daily, G. C.* Introduction: What are Ecosystem Services? / G. C. Daily // *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* / ed. by G. C. Daily. — Washington (DC): Island Press, 1997. — P. 1–10.
119. *Daily, G. C.* Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity / G. C. Daily, P. R. Ehrlich // *BioScience*. — 1992. — Vol. 42, iss. 10. — P. 761–771. — DOI: 10.2307/1311995.
120. *Dawod, G.* الجغرافية المعلومات نظم اطار في المكاني التحليل أسس GIS Spatial Analysis (in Arabic). 2012. — P. 257.
121. *De Groot, R. S.* Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics / R. S. de Groot // *The Environmentalist*. — 1987. — Vol. 7, iss. 2. — P. 105–109. — DOI: 10.1007/BF02240292.
122. Development of a Land Suitability Analysis Model for Slums Relocation: The Case of Cairo, Egypt / E. T. Nassar, H. Elghazouly, A. El-naggar, S. Ayaad // *J. Environ. Dev*. — 2024. — Vol. 33, iss. 1. — P. 3–28.
123. Development of automatic extraction model of soil erosion management area using ArcGIS model builder / D. Kum, J.-W. Choi, I.-J. Kim, D. Kong, J. Ryu, H. Kang, K.-J. Lim // *J. Korean Soc. Agric. Eng*. — 2011. — Vol. 53, iss. 6. — P. 71–81.

124. Diversity, biogeography, evolutionary relationships, and conservation of Eastern Mediterranean freshwater mussels (Bivalvia: Unionidae) / M. Lopes-Lima, M. E. Gürlek, Ü. Kebapçı, H. Şereflişan, T. Yanık, A. Mirzajani [et al.] // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. — 2021. — Vol. 163. — Art. nr 107261.
125. Global threats to human water security and river biodiversity / C. J. Vörösmarty, P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. Reidy Liermann, P. M. Davies // *Nature*. — 2010. — Vol. 467. — P. 555–561.
126. *Dominati, E.* A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils / E. Dominati, M. Patterson, A. Mackay // *Ecological Economics*. — 2010. — Vol. 69, iss. 9. — P. 1858–1868. — DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.
127. *Dikici, M.* Drought Analysis for the Seyhan Basin with Vegetation Indices and Comparison with Meteorological Different Indices / M. Dikici // *Sustainability*. — 2022. — Vol. 14, iss. 8. — Art. nr 4464. — 18 p. — DOI: 10.3390/su14084464.
128. *Douglas Y.* The Fragmentation of Syria: Geopolitical Implications and the Resurgence of Extremism / Y. Douglas // — 2024. — 25 p. — DOI: 10.13140/RG.2.2.34897.24162.
129. *Drygval, P.* Assessment of Organic Carbon Stocks at Landscape Levels Using the InVEST Software / P. Drygval, A. Drygval, V. Tabunshchik // *Civil Engineering Journal*. — 2025. — Vol. 11, No. 3. — P. 1145–1161. — DOI: 10.28991/CEJ-2025-011-03-018. — EDN EHIQGC
130. Effects of land use types on soil quality dynamics in a tropical sub-humid ecosystem, western Ethiopia / Y. Leul, M. Assen, S. Damene, A. Legass // *Ecological Indicators*. — 2023. — Vol. 147. — Art. nr 110024. — DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110024.
131. Ebthaj A. Environmental pollution problems in Iraq A Study in natural, human and industrial resources / A. Ebthaj, A. Raad // *Journal of Juridical and Political Science*. — 2022. — Vol. 11, iss. 1. — DOI: 10.55716/JJPS.2022.11.1.2.3.
132. Ecosystem services dynamics and their influencing factors: Synergies/tradeoffs interactions and implications, the case of Upper Blue Nile Basin, Ethiopia / E. Shifaw, J. Sha, X. Li, Z. Bao, J. Ji, Z. Ji, A. Y. Kassaye, S. Lai, Y. Yang // *Sci. Total Environ*. — 2024. — Vol. 938. — Art. nr 173524.
133. *Ehrlich, P.* Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species / P. Ehrlich, A. Ehrlich. — New York: Random House, 1981. — 328 p.
134. ERA5 Land – ClimateEngine.org Support [Электронный ресурс]. — URL: <https://support.climateengine.org/article/59-era5-land> (дата обращения: 02.03.2025).
135. Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) / K. Grunewald, O. Bastian, A. Drozdov., A. Grabovsky // *Bundesamt für Naturschutz*. — 2014. — 374 p.

136. ESA Land Cover CCI [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.esa-landcover-cci.org/> (дата обращения: 25.05.2025).
137. Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa / F. Satgé, D. Defrance, B. Sultan, M.-P. Bonnet, F. Seyler, N. Rouché, F. Pierron, J.-E. Paturel // J. Hydrol. — 2020. — Vol. 581. — Art. nr 124412. — DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124412.
138. Extending “Dendrogram” Functionality in R [Электронный ресурс]. — URL: (дата обращения: 25.05.2024).
139. FAO [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/ru/c/1236444/> (дата обращения: 25.05.2025).
140. *Gashaw, T.* Evaluating InVEST model for simulating annual and seasonal water yield in data-scarce regions of the Abbay (Upper Blue Nile) Basin: implications for water resource planners and managers / T. Gashaw, A. W. Worqlul, Y. T. Dile [et al.] // Sustain. Water Resour. Manag. — 2022. — Vol. 8. — Art. nr 170. — DOI: 10.1007/s40899-022-00757-3.
141. *Ghanem, S.* Distribution of Soil Organic Matter in the Coastal Region of Syria: A Case Study / S. Ghanem // Dysona. Applied Science. — 2020. — p. 57-62. — E-NAMTILA.
142. GIS-based rockfall hazard zones modeling along the coastal Gulf of Aqaba Region, Egypt / A. Omran, K. Fahmida, D. Schroeder, M. Arnous, A. El-Rayes, V. Hochschild // Earth Sci. Inform. — 2021. — Vol. 14. — P. 691–709. — DOI: 10.1007/s12145-021-00574-w.
143. *Gleick, P. H.* Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria / P. H. Gleick // Wea. Climate Soc. — 2014. — Vol. 6, iss. 3. — P. 331–340. — DOI: 10.1175/WCAS-D-13-00059.1.
144. Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010 [Электронный ресурс]. — URL: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1763 (дата обращения: 29.06.2024).
145. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units / Rudolf De Groot, Luke Brander, Sander van der Ploeg, Robert Costanza, Florence Bernard, Leon Braat, Mike Christie, Neville Crossman, Andrea Ghermandi, Lars Hein, Salman Hussain, Pushpam Kumar, Alistair McVittie, Rosimeiry Portela, Luis C. Rodriguez, Patrick ten Brink, Pieter van Beukering // Ecosystem Services. — 2012. — Vol. 1, iss. 1. — P. 50–61. — DOI: 10.1016/j.ecoser.2012.07.005.
146. Global Forest Change 2000-2023 Data Download [Электронный ресурс]. — URL: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change> (дата обращения: 25.05.2025).
147. Global Land Cover 2000 [Электронный ресурс]. — URL: <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/glc2000> (дата обращения: 25.05.2025).

148. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities / R. Naidoo, A. Balmford, R. Costanza, B. Fisher, R. E. Green, B. Lehner, T. R. Malcolm, T. H. Ricketts // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2008. — Vol. 105, No 28. — P. 9495–9500.
149. Global mapping of fractional tree cover for forest cover change analysis / Y. Liu, R. Liu, L. Qi, J. Chen, J. Dong, X. Wei // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — 2024. — Vol. 211. — P. 67–82. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2024.03.019.
150. Google Earth Engine [Электронный ресурс]. — URL: https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_02 (дата обращения: 25.05.2025).
151. *Grima, N.* How the end of armed conflicts influence forest cover and subsequently ecosystem services provision? An analysis of four case studies in biodiversity hotspots / N. Grima, Simron Singh // *Land Use Policy*. — 2019. — Vol. 81. — P. 267–275. — DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.10.056.
152. *Grizzetti, B.* Assessing water ecosystem services for water resource management / B. Grizzetti, D. Lanza, C. Lique, A. Reynaud, A. C. Cardoso // *Environmental Science & Policy*. — 2016. — Vol. 61. — P. 194–203. — DOI: 10.1016/j.envsci.2016.04.008.
153. *Habib, L.* Waad, I. STATUS OF SOIL RESOURCE IN SYRIA Assessment of existing soil information system. — 2007. 10.13140/RG.2.1.1996.1047.
154. *Haines-Young, R.* Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure / R. Haines-Young, M. B. Potschin. — 2018. — URL: <https://www.cices.eu> (дата обращения: 01.02.2024).
155. *Harrison, P. A.* Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach / P. A. Harrison, R. Dunford, D. N. Barton, E. Kelemen, B. Martín-López, L. Norton [et al.] // *Ecosystem Services*. — 2018. — Vol. 29, Part C. — P. 481–498. — DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.016.
156. *Hayha, T.* Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests / T. Hayha, P. P. Franzese, A. Paletto, B. D. Fath // *Ecosystem Services*. — 2015. — Vol. 14. — P. 12–23.
157. *Ilaiwi, M.* Soils of the Syrian Arab Republic / M. Ilaiwi // *Soil resources of Southern and Eastern Mediterranean countries* / ed. by P. Zdruli, P. Steduto, C. Lacirignola, L. Montanarella. — Bari: CIHEAM, 2001. — P. 227–242. — (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; № 34).
158. Improving Urban Flood Resilience: Urban Flood Risk Mitigation Assessment Using a Geospatial Model in the Urban Section of a River Corridor / K. Vilca-Campana, L. Carrasco-Valencia, C. Iruri-Ramos, B. Cárdenas-Pillco, A. Escudero, A. Chanove-Manrique // *Water*. — 2025. — Vol. 17, iss. 7. — Art. nr 1047.

159. InVEST 2.5.3 User's Guide / H. T. Tallis, T. Ricketts, A. D. Guerry, S. A. Wood, R. Sharp, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, K. Vigerstol, D. Pennington, G. Mendoza, J. Aukema, J. Foster, J. Forrest, D. Cameron, K. Arkema, E. Lonsdorf, C. Kennedy, G. Verutes, C. K. Kim, G. Guannel, M. Papenfus, J. Toft, M. Marsik, J. Bernhardt, R. Griffin; The Natural Capital Project. — Stanford, 2013. — URL: http://ncpdev.stanford.edu/~dataportal/investreleases/documentation/current_release/index.html (дата обращения: 25.05.2025).
160. IPBES. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services / IPBES. — 2019. — URL: <https://www.ipbes.net/global-assessment> (дата обращения: 01.02.2024).
161. Irrigation in the Middle East Region in figures / ed. by K. Frenken; The Food and Agr. Org. of the UN. — Rome: FAO, 2009. — 401 p.
162. *Ismaeel, O. A.* Developing Watershed Analysis Tool in GIS Environment / O. A. Ismaeel, B. M. Yahya, K. A. Ahmed // J. Tikrit Univ. Humanit. — 2022. — Vol. 29, iss. 2. — P. 128–140.
163. IUCN, UNEP, WWF. World Conservation Strategy / IUCN, UNEP, WWF. — Gland: World Conservation Union, United Nations Environment Programme, World Wide Fund for Nature, 1980.
164. *Jacob, S.* Dendoncker N., Keune H. (Eds.). Ecosystem Services. Global Issues, Local Practices // Elsevier. 2014. 411 p.
165. *Jafarzadeh, A.* Annual water yield estimation for different land uses by GISBased InVEST model (Case study: Mish-khas Catchment, Ilam Province, Iran) / Ali Jafarzadeh, Ali Mahdavi, Seyed Rashid Fallah Shamsi, Rasoul Yousefpour // Journal of Rangeland Science. — 2019. — Vol. 9, iss. 1. — P. 1–12.
166. Joint research centre. European Soil Data Centre (ESDAC) [Электронный ресурс]. — URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/> (дата обращения: 05.02.2025).
167. *Jomaa, I.* Orontes River watershed (El Assi River watershed) / I. Jomaa, R. Massaad // Academia [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.academia.edu/39026282/Orontes> (дата обращения: 01.06.2023).
168. *Jónsson, J.* Classification and valuation of soil ecosystem services. Agricultural Systems, Elsevier. vol. 145(C). — 2016. — p. 24-38. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2016.02.010>
169. *Kelley, C. P.* Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought / C. P. Kelley, S. Mohtadi, M. A. Cane, R. Seager, Y. Kushnir // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. — 2015. — Vol. 112, iss. 11. — P. 3241–3246. — DOI: 10.1073/pnas.1421533112.

170. *Khalili, A.* Creating Urban Flood Vulnerability Assessment tool for ArcMap Software using ModelBuilder and Python / A. Khalili, A. Osroosh, M. Poorzare // *J. Watershed Manag. Res.* — 2021. — Vol. 12, iss. 24. — P. 77–87.
171. *Khallouf, A.* Characterization of Major Soil Orders in Syria. *Eurasian Soil Science*. MAIK Nauka/Interperiodica. — 2020. doi: 10.1134/S1064229320040109.
172. *Khallouf, A., Talukdar S., Harsányi E.* Risk assessment of soil erosion by using CORINE model in the western part of Syrian Arab Republic/ A. Khallouf, S. Talukdar, E. Harsányi, at all // *Agric & Food Secur.* — 10, 22. — 2021. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00295-9>
173. *Khan, S.* Semi-automating the calculation of catchment scale geomorphic controls on river diversity using publically available datasets / S. Khan, K. A. Fryirs, S. Shumack // *Catena.* — 2021. — Vol. 203. — Art. nr 105354.
174. *Kibaroglu, A.* Water Resources Management in the Lower Asi-Orontes River Basin: Issues and Opportunities, Geneva: Graduate Institute of International and Development Studies / A. Kibaroglu, R. Jaubert // Istanbul: MEF University. — 2016. — P. 5–6.
175. *Kloosterman, F. H.* Dutch-Syrian water cooperation: development of a numerical groundwater flow model for the Larger Orontes Basin: final report / F. H. Kloosterman, J. S. A. Vermooten; The Netherl. Org. — [Netherland]: TNO Built Environment and Geosciences, 2008.
176. *Kraemer, C.* Automating arc hydro for watershed delineation / C. Kraemer, S. S. Panda // *Proceedings of the Georgia Water Resources Conference.* — Athens, GA, USA: University of Georgia, 2009.
177. Land cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observations [Электронный ресурс]. — URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/satellite-land-cover?tab=overview> (дата обращения: 25.05.2025).
178. Landsberg, Florence. Ecosystem services review for impact assessment / Florence Landsberg, Suzanne Ozment, M. Stickler, Norbert Henninger, Jo Treweek, Orlando Venn, G. Mock // *World Resour Inst Work Pap.* — 2011. — Vol. 1. — URL: https://www.researchgate.net/publication/285828606_Ecosystem_services_review_for_impact_assessment (дата обращения: 25.05.2025).
179. Modelling the potential impacts of land use/cover change on terrestrial carbon stocks in north-west Morocco / Mohamed Maanan, M. Karim, Hicham Kacem, Soukaina Ajrhough, Henri Rueff, Maria Snoussi, Hassan Rhinane // *International Journal of Sustainable Development & World Ecology.* — 2019. — Vol. 26, iss. 7. — DOI: 10.1080/13504509.2019.1633706.
180. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union / Joachim Maes, Egoh Benis, Louise Willemen, Camino Lique, Petteri Vihervaara, Jan Philipp

Schägnier [et al.] // Ecosystem Services. — 2012. — Vol. 1, iss. 1. — P. 31–39. — DOI: 10.1016/j.ecoser.2012.06.004.

181. *Magesh, N. S.* A GIS based automated extraction tool for the analysis of basin morphometry / N. S. Magesh, N. Chandrasekar, S. Kaliraj // Bonfring Int. J. Ind. Eng. Manag. Sci. — 2012. — Vol. 2, iss. 1. — P. 32–35.

182. MEA. Environmental Degradation and Human Well-Being: Report of the Millennium Ecosystem Assessment / MEA. — Hoboken, NJ, USA: Blackwell Publishing Ltd., 2005. — P. 389–398.

183. METAP (Mediterranean Environmental Technical Assistance Program). Lebanon: Assessment of the State of the Environment for the Ministry of Environment: final report / METAP; EU/EIB/WB/UNDP. — 1995: Environmental Resources Management.

184. NCC. Natural Capital Protocol / Natural Capital Coalition (NCC) [Электронный ресурс]. — 2016. — URL: <http://www.naturalcapitalcoalition.org/protocol> (дата обращения: 30.03.2023).

185. Ökosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Springer Spektrum. Berlin: Heidelberg, 2013. 332 S.

186. *Omran, Y.* Community Science Rediscovered the Syrian Spadefoot Toad, *Pelobates syriacus*, in War-Torn Regions of Syria / Y. Omran, J. Baakliny, M. A. Davis // Herpetological Conservation and Biology. — 2024. — Vol. 19, no. 3. — P. 386–394.

187. Orontes River Basin // Inventory of shared water resources in Western Asia / UN, Econ. and Social Commis. for Western Asia [et al.]. — Beirut: ESCWA, 2013. — Chap. 7. — URL: https://waterinventory.org/sites/waterinventory.org/files/chapters/Chapter-07-Orontes-River-Basin-web_1.pdf (дата обращения: 17.11.2023).

188. *Özcan, G. A.* A contribution to knowledge of the freshwater fish of Orontes River, Hatay, Turkey / G. A. Özcan // Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. — 2013. — Vol. 3, no. 2. — P. 143–147.

189. *Özcan, G.* Length-Weight Relationship and Condition Factor of Three Endemic and Threatened Freshwater Fishes from Orontes River / G. Özcan, A. Altun // Pakistan Journal of Zoology. — 2015. — Vol. 47, no. 6. — P. 1637–1643.

190. PAX. Living under a black sky: Conflict pollution and environmental health concerns in Iraq. Retrieved from, 2017. [Электронный ресурс]. — URL: <https://ceobs.org/pax-2017-living-under-a-black-sky-conflict-pollution-and-environmental-health-concerns-in-iraq/>

191. *Palmer, M. A.* Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration / M. A. Palmer, A. Ruhi // Science. — 2019. — Vol. 365, no. 6459. — Art. nr eaaw2087.

192. *Potschin, M.* TEEB ecosystem services / M. Potschin, R. Haines-Young, R. Fish, R. K. Turner // *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. — 2016. — P. 25–44.
193. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa / M. D. K. Leh, M. D. Matlock, E. C. Cummings, L. L. Nalley // *Agric. Ecosyst. Environ.* — 2013. — Vol. 165. — P. 6–18.
194. *Schaller, J.* ArcGIS modelBuilder applications for landscape development planning in the region of Munich, Bavaria / J. Schaller, C. Mattos // *Digit. Landsc. Archit.* — 2010. — Vol. 1. — P. 42–52.
195. SENTINEL-2 10M LAND USE/LAND COVER [Электронный ресурс]. — URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=92.21745%2C26.42377%2C11&mode=s wipe&timeExtent=2017%2C2023&downloadMode=true> (дата обращения: 27.06.2024).
196. *Shaban, A.* Rivers of Lebanon: significant water resources under threats / A. Shaban // *Hydrology* / eds: T. V. Hromadka, P. Rao. — London: IntechOpen, 2021. — P. 126-157. — DOI: 10.5772/intechopen.94152.
197. Soil erosion analysis in a small forested catchment supported by ArcGIS Model Builder / P. Csáfordi, A. Pődör, J. Bug, Z. Gribovszki // *Acta Silv. Lignaria Hung.* — 2012. — Vol. 8. — P. 39–56.
198. Soil Organic Carbon Storage and Stratification in Land Use Types in the Source Area of the Tarim River Basin / Q. Zhang, C. Yue, P. Yu, H. Xu, J. Wu, F. Sheng // *Sustainability*. — 2024. — Vol. 16, iss. 24. — Art. nr 11255. — DOI: 10.3390/su162411255.
199. SOIL GRIDS. Soil organic carbon stock [Электронный ресурс]. — URL: <https://soilgrids.org/> (дата обращения: 30.06.2024).
200. *Tabunshchik, V.* Delineation and Morphometric Characterization of Small- and Medium-Sized Caspian Sea Basin River Catchments Using Remote Sensing and GISs / V. Tabunshchik, P. Dzhambetova, R. Gorbunov, T. Gorbunova, A. Nikiforova, P. Drygval, I. Kerimov, M. Kiseleva // *Water*. — 2025. — Vol. 17, iss. 5. — Art. no. 679. — 47 p. — DOI: 10.3390/w17050679.
201. *Tabunshchik, V.* Anthropogenic Transformation of the River Basins of the Northwestern Slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula) / V. Tabunshchik, R. Gorbunov, T. Gorbunova // *Land*. — 2022. — Vol. 11, iss. 12. — Art. 2121. — DOI: 10.3390/land11122121.
202. *Tabunshchik, V.* Uncovering Anthropogenic Changes in Small- and Medium-Sized River Basins of the Southwestern Caspian Sea Watershed: Global Information System and Remote Sensing Analysis Using Satellite Imagery and Geodatabases / V. Tabunshchik, A. Nikiforova, N. Lineva, R. Gorbunov, T. Gorbunova, I. Kerimov, A. Nasiri, C. N. Pham // *Water*. — 2025. — Vol. 17, iss. 13. — Art. no. 2031. — 50 p. — DOI: 10.3390/w17132031.

203. Tallis, H. Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management / H. Tallis, S. Polasky // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* — 2009. — Vol. 1162. — P. 265–283. — DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04152.x.
204. Tardieu, L. Assessing and mapping global climate regulation service loss induced by terrestrial transport infrastructure construction / L. Tardieu, S. Roussel, J. M. Salles // *Ecosyst. Ser.* — 2013. — Vol. 4. — P. 73–81.
205. TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations / TEEB. — London; New York: Earthscan, 2010.
206. The Environmental Impact of Syria's Conflict: A Preliminary Survey of Issues. Arab Reform Initiative. Roba Gaafar. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.arab-reform.net/publication/the-environmental-impact-of-syrias-conflict-a-preliminary-survey-of-issues/> (дата обращения: 02.07.2025).
207. The InVEST Habitat Quality Model Associated with Land Use/Cover Changes: A Qualitative Case Study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia / Abreham Aneseyee, Tomasz Noszczyk, Teshome Soromessa, Eyasu Elias // *Remote Sensing.* — 2020. — Vol. 12, iss. 7. — Art. nr 1103. — 23 p. — DOI: 10.3390/rs12071103.
208. The Royal Institute of International Affairs [Электронный ресурс]. — Published by John Wiley & Sons Ltd, 2014. — URL: https://ciaotest.cc.columbia.edu/journals/riia/v90i4/f_0032205_26201.pdf (дата обращения: 25.05.2025).
209. The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): simulating the interactions of coupled human and natural systems / R. Boumans, J. Roman, I. Altman, L. Kaufman // *Ecosyst. Serv.* — 2015. — Vol. 12. — P. 30–41.
210. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services / Kate Brauman, Gretchen Daily, Thomas Duarte, Harold Mooney // *Annual Review of Environment and Resources.* — 2007. — Vol. 32. — P. 67–98. — DOI: 10.1146/annurev.energy.32.031306.102758.
211. The value of the world's ecosystem services and natural capital / R. Costanza, R. D'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo [et al.] // *Nature.* — 1997. — Vol. 387, iss. 6630. — P. 253–260.
212. Traboulsi, M. Les précipitations au Proche-Orient: variabilité spatio-temporelle et relations avec la dynamique de l'atmosphère (1960–61/1989–90): dr. diss. / M. Traboulsi. — Dijon, 2004. — 233 p.

213. Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Hama Floodplain, Syria / H.M.H. Husein, M. Kalkha, A. Jrdi, R. Bäumlér // Natural Resources. 10. — 2019. — P. 187-201. 10.4236/nr.2019.106013.
214. Using machine learning and remote sensing to track land use/land cover changes due to armed conflict / Saeed Mhanna, Landon J. S. Halloran, François Zwahlen, Ahmed Haj Asaad, Philip Brunner // Science of The Total Environment. — 2023. — Vol. 898. — Art. nr 165600. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165600.
215. Weulersse, J. Paysans de Syrie et du Proche-Orient / J. Weulersse. — Paris, 1946.
216. What is ModelBuilder [Электронный ресурс]. — URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm> (дата обращения: 25.05.2024).
217. Yalcin, I. E. Phytoremediation potential and ecophysiological features of water hyacinth *Eichornia crassipes*: a case study from Orontes River, Türkiye / I. E. Yalcin, V. Altay, M. Ozturk // Journal of Environmental Science and Health, Part A. — 2025. — P. 1–13.
218. Yao, T. A review on principle and application of the invest model / T. Yao, Z. Weiping, Z. Hui // Ecol. Sci. — 2015. — Vol. 34. — P. 204–208.
219. Yen, T. M. Assessing carbon storage and carbon sequestration for natural forests, man-made forests, and bamboo forests in Taiwan / T. Yen, C. T Wang // The International Journal of Sustainable Development and World Ecology. — 2013. — Vol. 20, iss. 5. — P. 455-460. — DOI: 10.1080/13504509.2013.811445.
220. Young, C. J. Assessment of economic value of ecosystem service by using invest model in South Korea / C. J. Young, L. S. Don // Int. J. Environ. Sci. Dev. — 2017. — Vol. 8, iss. 11. — P. 815–818.
221. Zhu, Z. An earthquake-induced landslides risk assessment model using the modelBuilder of ArcGIS / Z. Zhu // Proceedings of the 18th International Conference on Geoinformatics. — Beijing, China, 18–20 June 2010. — P. 1-4.