



приоритет 
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова

**20
25**
ГРОЗНЫЙ

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Монография научная



WWW.GSTOU.RU

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА
М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА

Молодежная лаборатория
низкоуглеродных строительных технологий
«ЭКО-МАТЕРИАЛОВЕД»



Муртазаев С-А.Ю., Сайдумов М.С., Бекмурзаева Л.Р.,
Мажиев К.Х., Межидов Д.А., Абумуслимов А.С., Гацаев З.Ш.,
Висханов С.С., Муртазаев Им.С-А., Саидов А-К.С-Б., Батаева Я.Д.,
Муртазаев Ис.С-А., Сайдумов М-С.М., Витаргова Р.С.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Монография научная

приоритет 
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова

Москва
Альпен-Принт
2025

УДК: 691; 691:620.1
ББК 38.32
А64

Рецензенты:

Д.К-С. Батаев – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор КНИИ РАН им. Х.И. Ибрагимова.
Т.А. Хежесев – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки КБР, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова».

А64 Анализ эколого-материаловедческих проблем возникновения источников парниковых газов на урбанизированных территориях / С-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов, Л.Р. Бекмурзаева, К.Х. Мажиев, Д.А. Межидов, А.С. Абумуслимов, З.Ш. Гацаев, С.С. Висханов, Им.С-А. Муртазаев, А-К.С-Б. Саидов, Я.Д. Батаева, И.С-А. Муртазаев, М-С.М. Сайдумов, Р.С. Витаргова. — Москва : ООО «Альпен-Принт», 2025. — 165 с. : ил.
ISBN 978-5-6054615-9-3

В книге обобщены результаты научных работ авторов, проведенных за последние 1-2 года, включая анализ состояния эколого-материаловедческой проблемы региона Чеченской Республики, исследования техногенной сырьевой базы, выявление проблем образования источников эмиссии парниковых газов на урбанизированных территориях, а также раскрыты современные представления и основные принципы получения строительных композитов полифункционального назначения с низким углеродным следом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова" FZNU-2024-0003 "Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения".

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников в области строительства и стройиндустрии, преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов по направлению «Строительство».

УДК: 691; 691:620.1
ББК 38.32
А64
EDN: QNQKVU

© ГГНТУ, 2025

ISBN 978-5-6054615-9-3

СОДЕРЖАНИЕ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	6
Перечень сокращений, условных обозначений, терминов	11
ВВЕДЕНИЕ	12
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И СЕКВЕСТРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	15
1.1 Концептуальные основы низкоуглеродного развития	15
1.2 Выбор и обоснование оптимального варианта направления экспериментальных и теоретических работ и план их проведения	18
1.2.1 Выбор и обоснование оптимального варианта направления исследований.....	18
1.2.2 План проведения экспериментальных и теоретических исследований.....	29
1.3 Подбор и обоснование выбора научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории	32
Выводы по 1-ой главе.....	32
2. ЭКОЛОГО-МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	34
2.1 Анализ факторов различной природы, влияющие на экологическую обстановку в регионе	34
2.1.1 Природные условия и ландшафты Чеченской Республики	40
2.1.1.1 Геоморфология.....	40
2.1.1.2 Климат	42
2.1.1.3 Водные ресурсы	44
2.1.1.4 Почвы и растительность.....	46
2.1.1.5 Ландшафты Чеченской Республики.....	50
2.1.2 Геоэкологическая обстановка на территории Чеченской Республики.....	52

2.1.2.1 Состояние атмосферного воздуха	52
2.1.2.2 Состояние поверхностных вод	53
2.1.2.3 Состояние почв.....	54
2.1.2.4 Антропогенная трансформация ландшафтов Чеченской Республики	56
2.1.2.5 Экологическая характеристика производства	56
2.2 Урбанистика и управление территориальным развитием	61
2.3 Эффективные стратегии в управлении отходами	64
2.4 Вклад урбанизированных территорий на эмиссию парниковых газов	69
2.5 Эколого-материаловедческие проблемы использования техногенных отходов в посткризисных районах.....	79
Выводы по 2-ой главе.....	85

3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С НИЗКИМ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ.....

3.1 Анализ энергоемкости, эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии	86
3.1.1 Анализ энергоемкости предприятий стройиндустрии.....	86
3.1.2 Анализ эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии	92
3.2 Современные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки, в технологии интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом	96
3.3. Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022 применительно к теме исследования.....	104
3.4 Исследование степени экологической нагрузки на окружающую среду от многотоннажных отвалов техногенной природы.....	105
3.5 Техногенные отходы как источник новых месторождений сырья для получения зеленых композиционных материалов полифункционального назначения с уникальными свойствами.....	111
3.6 Исследование влияние химического и минералогического составов минеральных составляющих исходного сырья различной природы на состав новообразований, структуру и секвестрационный потенциал получаемого композита их основе	116

3.7 Разработка рабочей гипотезы о возможности получения интеллектуальных (зеленых) композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья.....	120
Выводы по 3-ей главе.....	121
4. РЕАЛИЗАЦИЯ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД И ВТОРИЧНОГО БЕТОНА	125
4.1 Общие сведения об особенностях получения мелкозернистых бетонов по безотходной технологии.....	125
4.2 Создание мелкозернистых бетонов по безотходной технологии с утилизацией отсевов дробления горных пород и бетонного лома.....	126
5. ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ГРОЗНЕНСКОЙ ТЭЦ.....	131
5.1 Принципы проектирования строительных материалов с применением золошлаковых смесей	131
5.2 Создание строительных материалов из золы и шлака Грозненской ТЭЦ.....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	146

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

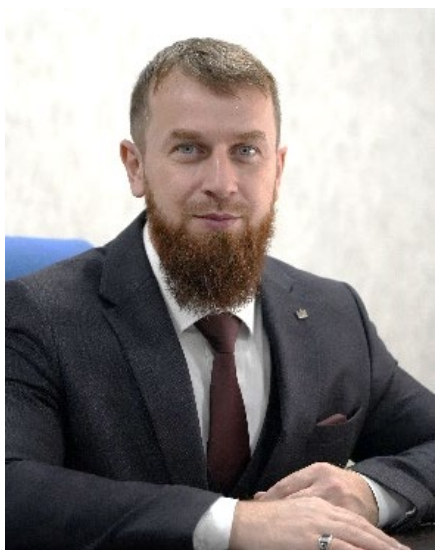


МУРТАЗАЕВ САЙД-АЛЬВИ ЮСУПОВИЧ

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительного производства», ведущий ученый и главный научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, член-корреспондент Академии наук Чеченской Республики, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), заслуженный работник высшей школы РФ.

Е-mail: s.murtazaev@mail.ru

Автор более 520 научных и учебно-методических трудов. Лауреат премии «СЕРЕБРЯНАЯ СОВА».



САЙДУМОВ МАГОМЕД САЛАМУВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства», заведующий Молодежной лабораторией низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, член-корреспондент Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ) по секции «Экология и охрана окружающей среды».

Е-mail: saidumov_m@mail.ru

Автор более 250 научных и учебно-методических трудов. Лауреат премии «СЕРЕБРЯНАЯ СОВА».



БЕКМУРЗАЕВА ЛУИЗА РУСЛАНОВНА

Кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: eip-eco2017@yandex.ru

Автор более 70 научных и учебно-методических трудов.

Ведущий научный сотрудник лаборатории климатологии и метеорологии НИИ геоэкологии и природопользования ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.



МАЖИЕВ КАЗБЕК ХАСАНОВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, научный сотрудник Молодежной лабораторией низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: m.k.kh@mail.ru

Молодой ученый, автор свыше 100 опубликованных научных работ, 4 монографий, 5 патентов на изобретения, 5 методических указаний.

Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых.

Лауреат премии «СЕРЕБРЯНАЯ СОВА».



МЕЖИДОВ ДЖОХАР АСЛАНБЕКОВИЧ

Аспирант, младший научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: miezhidov8938@mail.ru

Основное направление научных исследований — разработка технологий утилизации техногенного сырья с целью создания новых строительных материалов.



АБУМУСЛИМОВ АДАМ СУЛИМАНОВИЧ

Аспирант, младший научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: adam290692@mail.ru

Ведущий аналитик отдела грантовой поддержки и интеллектуальной собственности ГГНТУ.

Научные интересы связаны с разработкой методов утилизации техногенного сырья для применения в строительном материаловедении.



ГАЦАЕВ ЗУРАБ ШАРУДИЕВИЧ

Научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: gacaev_195@mail.ru

Научные интересы: утилизация техногенного сырья для производства бесклнкерных вяжущих и бетонов на их основе.



ВИСХАНОВ САЛМАН САЛАМОВИЧ

Научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: vss_095@mail.ru

Научная деятельность направлена на исследование и улучшение свойств бетонов и строительных растворов с применением бентонита.



МУРТАЗАЕВ ИМРАН САЙД-АЛЬВИЕВИЧ

Аспирант, младший научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: pirlo.21.milan@mail.ru

Научные интересы связаны с оптимизацией строительных технологий возведения высотных зданий с использованием самоуплотняющихся бетонов, производимых из техногенного сырья.



САИДОВ АБДУЛ-КЕРИМ САЙД-БЕКОВИЧ

Лаборант-исследователь Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: saidov.abdulkerim@list.ru

Область научных интересов связана с разработкой низкоуглеродных строительных технологий с комплексным использованием техногенного и природного некондиционного сырья.



БАТАЕВА ЯХА ДЕНАЕВНА

Аспирант, младший научный сотрудник Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: Yaha_b@mail.ru

Сфера научных интересов - разработка подходов к повышению устойчивости жизненного цикла памятников истории и культуры башенного типа.



ВИТАРГОВА РУЗАНА САЙХАНОВНА

Лаборант-исследователь Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Е-mail: ruzanavitargova@gmail.com

Область научных интересов связана с разработкой низкоуглеродных строительных технологий с комплексным использованием техногенного и природного некондиционного сырья.



МУРТАЗАЕВ ИСМАИЛ САЙД-АЛЬВИЕВИЧ

Лаборант-исследователь Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

E-mail: Ismail.murtazaev.2001@mail.ru

Область научных интересов связана с разработкой низкоуглеродных строительных технологий с комплексным использованием техногенного и природного некондиционного сырья.



САЙДУМОВ МАГОМЕД-САЛАХ МУСАЕВИЧ

Лаборант-исследователь Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

E-mail: saydumov193@gmail.com

Область научных интересов связана с разработкой низкоуглеродных строительных технологий с комплексным использованием техногенного и природного некондиционного сырья.

Перечень сокращений, условных обозначений, терминов

В работе применяются следующие сокращения, условные обозначения и термины:

- ВАК – Высшая аттестационная комиссия
- ГК РФ – Гражданский кодекс Российской Федерации
- ГГНТУ – Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова
- ЕАПВ – Евразийское патентное ведомство
- КНР (CN) – Китайская народная республика
- МПК – международная патентная классификация
- МПР ЧР – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики
- ОПУБЛ. – дата публикации сведений о заявке или патента (реферат или формула изобретения) в официальном бюллетене патентного ведомства
- ОЭСР – Организации экономического сотрудничества и развития
- ПДК – Предельно допустимая концентрация
- ПТК – Природно-территориальный комплекс
- ПГ – парниковые газы
- ПМ – полезная модель
- Роспатент – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам
- RU – Российская Федерация
- РОП – Расширенная ответственность производителя
- CIPCC – Chemically-induced pre-cure carbonation
- США (US) – Соединенные Штаты Америки
- ТКО – Твердые коммунальные отходы
- УГ – углекислый газ
- ФЗ – федеральный закон
- ЦДНГ – Цех добычи нефти и газа
- ЧР – Чеченская Республика
- ЭВМ – Электронная вычислительная машина

ВВЕДЕНИЕ

В условиях антропоцена, когда человеческая деятельность стала доминирующей силой, определяющей состояние окружающей среды, глобальное изменение климата представляет собой один из наиболее серьезных вызовов для цивилизации. Нарастающая частота и интенсивность экстремальных погодных явлений, таяние ледников и повышение уровня Мирового океана являются прямыми следствиями роста концентрации парниковых газов, прежде всего диоксида углерода (CO_2), в атмосфере. Параллельно с климатическим кризисом усугубляются проблемы деградации экосистем, включая потерю биоразнообразия, опустынивание и загрязнение природных сред. В этом контексте урбанизация, будучи двигателем экономического и социального прогресса, одновременно выступает как ключевой источник антропогенного воздействия. На города сегодня приходится свыше 70% глобальных выбросов CO_2 и потребления ресурсов, что приводит к формированию «островов тепла», ухудшению качества воздуха, нарушению гидрологического режима территорий и сокращению биоразнообразия [Гиясов Б.И., 2022]. Таким образом, поиск решений для устойчивого развития городских территорий трансформируется из теоретической задачи в практическую необходимость выживания и адаптации.

В ответ на эти вызовы мировая научная общественность концентрирует усилия на разработке низкоуглеродных технологий, направленных на декарбонизацию ключевых отраслей экономики. Особое место среди них занимает строительная индустрия, которая является одним из крупнейших источников углеродного следа — на ее долю приходится до 40% мировых выбросов CO_2 . Однако современный подход заключается не только в снижении эмиссий на этапе производства материалов и строительства, но и в активном вовлечении строительного сектора в процессы природного восстановления. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области является технология секвестрации углерода — целенаправленный процесс захвата и

долговременного связывания атмосферного CO₂. Новизна проводимых исследований заключается в разработке комплексного подхода, который интегрирует технологии секвестрации с задачей повышения продуктивности и биоразнообразия городских экосистем. Это предполагает создание новых классов строительных и композитных материалов, которые не просто являются пассивными элементами конструкции, но выполняют активные экологические функции. Речь идет о материалах, способствующих росту растительности, улучшающих качество почвы и аккумулирующих углерод в течение всего жизненного цикла.

Важнейшим компонентом предлагаемого подхода является его синергия с принципами экономики замкнутого цикла. Акцент на повторное использование и переработку промышленных и строительных отходов позволяет решить двоякую задачу: с одной стороны, радикально снизить углеродный след, связанный с добычей первичного сырья и утилизацией отходов, а с другой — создать новые функциональные материалы из вторичных ресурсов. Например, использование продуктов переработки металлургических шлаков, золы, стекла и строительного мусора не только решает проблему захоронения отходов, но и позволяет получать композиты с заданными свойствами. Такие полифункциональные материалы находят применение в различных секторах — от строительства (шумопоглощающие панели, пористые покрытия для зеленых крыш и фасадов) до сельского хозяйства (субстраты для фиторемедиации и гидропоники) и энергетики [Рузавин А.А., 2024; Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., 2020]. Это создает кросс-отраслевые синергетические эффекты, повышая как экономическую устойчивость, так и экологическую безопасность урбанизированных территорий.

Таким образом, актуальность разработки комплексных низкоуглеродных технологий для строительной отрасли, направленных не только на сокращение выбросов, но и на активное повышение продуктивности и секвестрационного потенциала городских экосистем, не вызывает сомнений. Эти технологии представляют собой переход от парирующей стратегии к превентивной и

созидательной. Они открывают путь к созданию «живых» городских инфраструктур, которые не противостоят природе, а интегрируются с ней, становясь частью естественного цикла углерода. Настоящая монография призвана систематизировать современные научные знания и представить результаты авторских исследований в области создания и применения таких материалов и технологий. Цель работы — обосновать теоретические предпосылки и продемонстрировать практические возможности перехода к новой парадигме в строительстве, где антропогенная среда становится активным участником процессов экологической регенерации, обеспечивая тем самым устойчивое развитие в условиях глобальных изменений.

Настоящая монография подготовлена на научных результатах, полученных в рамках выполнения государственного задания ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова" FZNU-2024-0003 "Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения".

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И СЕКВЕСТРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1 Концептуальные основы низкоуглеродного развития

Концептуальные основы низкоуглеродного развития формируются как ответ на глобальные климатические вызовы, обусловленные антропогенным воздействием на окружающую среду. Эта парадигма в рамках международных усилий по смягчению последствий изменения климата, начало которым было положено принятием Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) в 1992 году. С тех пор низкоуглеродное развитие трансформировалось из теоретической концепции в практическую стратегию, интегрирующую экономические, технологические и социальные аспекты.

Ключевой идеей низкоуглеродного развития является переход от экономики, зависимой от ископаемого топлива, к модели, основанной на возобновляемых источниках энергии и энергоэффективных технологиях, в том числе строительных. Этот переход не только снижает эмиссию парниковых газов, но и создает новые возможности для экономического роста, например, через развитие "зеленых" секторов, таких как солнечная и ветровая энергетика, где наблюдается значительное сокращение затрат на производство энергии и рост инвестиций. Важно отметить, что низкоуглеродная экономика (LCE) — это не просто замена одних источников энергии другими, а комплексная трансформация производственных и потребительских моделей, направленная на минимизацию углеродного следа при сохранении экономической динамики.

В России концепция низкоуглеродного развития реализуется через национальные стратегии, такие как "Стратегия низкоуглеродного развития России", где акцент делается на замещении угля и других ископаемых видов топлива альтернативными источниками энергии. Это включает не только

технологические инновации, но и оценку сопутствующих эффектов, таких как улучшение качества воздуха и здоровья населения. Особое внимание уделяется арктическим регионам, где климатические изменения проявляются наиболее остро. Здесь низкоуглеродное развитие сочетается с принципами "синей экономики", ориентированной на устойчивое использование морских ресурсов, что подчеркивает необходимость адаптации стратегий к локальным условиям.

Одним из инструментов перехода к низкоуглеродной экономике являются "зеленые" финансы, включая облигации и гранты, которые направлены на поддержку экологических проектов. Однако, как отмечают эксперты, существуют определенные нюансы, такие как отсутствие единых стандартов для "зеленых" инвестиций и сложности в привлечении долгосрочного капитала. Эти проблемы требуют кардинальных усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества для разработки унифицированных механизмов финансирования и регуляторных рамок.

Концептуальные основы низкоуглеродных строительных технологий также формируются в ответ на глобальные вызовы, связанные с изменением климата, истощением ресурсов и необходимостью перехода к устойчивому развитию. В центре этой концепции лежит снижение углеродного следа строительной отрасли, которая сегодня ответственна до 38% мировых выбросов парниковых газов. Это достигается за счет интеграции экологических принципов на всех этапах жизненного цикла зданий — от проектирования и строительства до эксплуатации и утилизации.

Ключевым элементом низкоуглеродного строительства является энергоэффективность, которая реализуется через пассивные архитектурные решения: оптимальную ориентацию зданий, естественную вентиляцию, теплоизоляцию и использование возобновляемых источников энергии. Важную роль играет и материаловедческий подход: использование местных низкоуглеродных материалов (вторичные материалы из отходов, переработанная сталь, камень) и отказ от традиционного цемента, производство которого связано с высокими выбросами CO₂.

Современные методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства (ОКС) также ориентированы на минимизацию углеродного воздействия. Например, методология Life Cycle Assessment (LCA) позволяет оценивать ресурсоемкость и выбросы парниковых газов на предстроительных этапах, включая проектирование и выбор материалов. В России это направление развивается в рамках стратегии низкоуглеродного развития до 2050 года, где особое внимание уделяется сертификации строительной продукции и внедрению «зеленых» стандартов, таких как EDGE Advanced.

Еще один принцип — адаптивное использование существующих зданий вместо нового строительства. Примером служит проект АКАН в Индии, где реконструкция офисного здания с повторным применением старых материалов позволила сократить выбросы, связанные с производством новых конструкций.

Наконец, низкоуглеродные технологии требуют системного взаимодействия на глобальном и локальном уровнях. Как отмечал премьер-министр Японии в 2008 году, переход к «прохладной Земле» невозможен без участия всех стран, но развитые государства должны брать на себя большую ответственность. В строительном секторе это выражается в разработке национальных стандартов (например, кодексов зеленого строительства в Пакистане) и поддержке научных исследований, направленных на декарбонизацию отрасли.

Концепция низкоуглеродного строительства объединяет инновационные технологии, экологичные материалы, эффективное управление жизненным циклом и международное сотрудничество, формируя основу для устойчивого развития городов будущего.

Таким образом, концептуальные основы низкоуглеродного развития, в целом, объединяют экологические, экономические и социальные цели, предлагая решения к устойчивому будущему. Это предполагает не только технологическую модернизацию, но и изменение поведенческих моделей, внедрение новых технологий, новых взглядов и решений, а также

международное сотрудничество для достижения глобальных климатических целей, таких как ограничение роста температуры, в первую очередь, в рамках Парижского соглашения.

1.2 Выбор и обоснование оптимального варианта направления экспериментальных и теоретических работ и план их проведения

1.2.1 Выбор и обоснование оптимального варианта направления исследований

Выбор и обоснование оптимального варианта направления экспериментальных и теоретических работ производилось с учётом следующих этапов:

- Анализ состояния исследуемой проблемы и результатов патентных исследований.
- Сравнительная оценка вариантов возможных решений с учётом результатов прогнозных исследований.
- Теоретическое обоснование возможности использования результатов фундаментальных исследований.
- Планирование эксперимента для достижения максимальной точности измерений и сохранения статистической достоверности результатов.

Обозначенные этапы исследований определены на основании того, что в настоящее время на фоне интенсивной трансформации мировой индустрии, в том числе промышленности строительных материалов, расширении производственных объемов на первый план выходят проблемы разработки новых технологических решений, способных снизить техногенный прессинг на окружающую среду. Концепция устойчивого развития, получившая широкой огласки еще с конца 20 века, предусматривает необходимость разработки инновационных подходов для эффективных решений обозначенной проблемы, в т.ч. в строительной индустрии. Международная комиссия по окружающей среде и развитию в докладе «Наше общее будущее» устойчивое развитие обозначила

как «развитие, которое удовлетворяет потребности нашего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» [Бурцева В.С., 2024].

Общеизвестно, что как в мировой практике, так и в отдельно взятых отраслях рациональное соотношение экологической, социально-экономической сферами лежит в основе концепции устойчивого развития. А в строительной индустрии такая концепция отражает производство проектных, строительномонтажных и сервисно-эксплуатационных работ, направленных на достижение безопасности, комфорта и качества внутренней и внешней среды зданий и сооружений при существенно сниженных затратах ресурсов жизнеобеспечения с минимальным экологическим воздействием на окружающую среду [Бурцева В.С., 2024]. Одна из глобальных целей устойчивого развития, принятых в 2015 году, - сделать города открытыми, безопасными, жизнестойкими и экологически устойчивыми [Шведова Н.А., 2022]. Следовательно, наиболее приоритетным решением для устойчивого развития отрасли строительного материаловедения служит направление минимизации воздействия зданий и сооружений на окружающую среду за счет снижения выбросов, управления отходами и экологически обоснованного выбора материалов.

К наиболее «грязным» производствам в строительной индустрии относят производство цемента, являющегося основным активным компонентом при изготовлении бетонов. По данным [Чомаева М.Н., 2016; Guo Y., Luo L., Liu T. and others, 2023; Andrew R.M., 2019; Miller S.A., Horvath A., Monteiro P.J., 2016] цементное производство – причина эмиссии в атмосферу углекислого газа в количестве 5-8% от общемировых выбросов (рис. 1.1). Термическая обработка известняка CaCO_3 при этом способствует образованию выбросов CO_2 в атмосферу. Кроме того, выбросы происходят при сжигании топлива в промышленных тепловых агрегатах. Разработка и внедрение низкоуглеродных технологий получения экологически эффективных строительных материалов станет основой для успешной реализации концепции устойчивого развития.

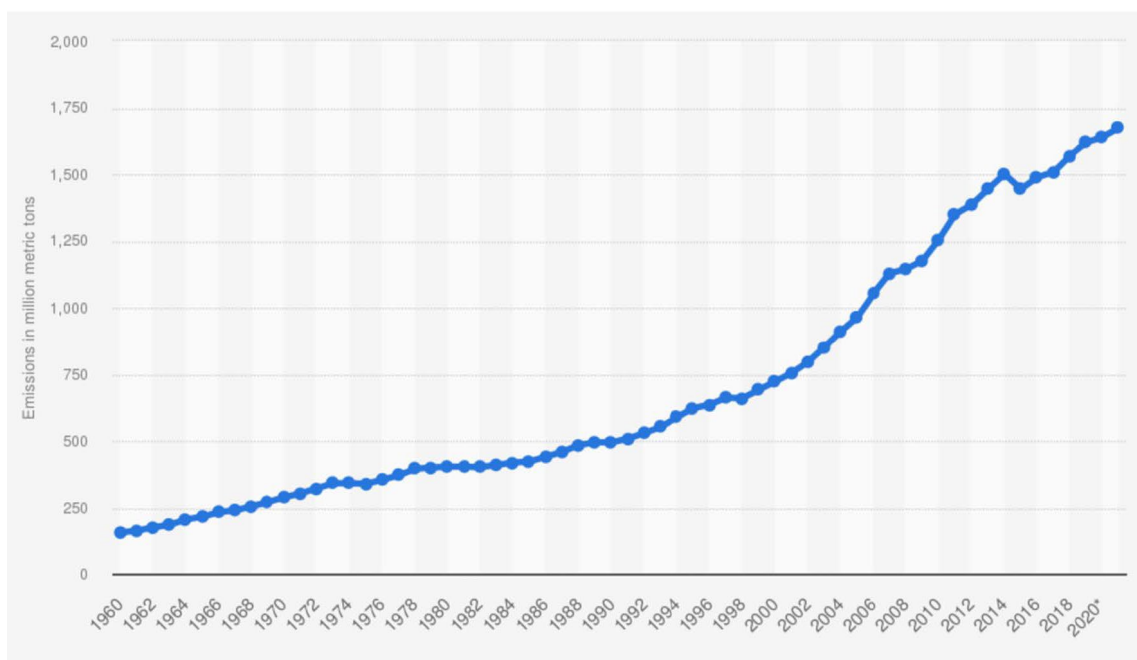


Рисунок 1.1 - Выбросы углекислого газа при производстве цемента во всем мире с 1960 по 2021 год [Salim Barbhuiyaa, 2024]

Среди устойчивых (экологически эффективных) строительных материалов широкую популярность начали приобретать низкоуглеродистые бетоны, при производстве которых преследуется основная цель – снижение количества выбрасываемого углекислого газа с сохранением основных свойств бетона. В этой связи, целью настоящего исследования является анализ и обобщение существующих технологий получения экологически эффективных бетонов и строительных растворов.

Существующие технологии производства низкоуглеродистых бетонов основаны на сокращении количества цемента на единицу объема продукции, а значит и количества выбросов, сопровождающее его производство. Сокращение расхода цемента происходит либо за счет применения в бетоне заполнителей повышенной прочности, чистых (мытых) компонентов, обеспечивающих повышенную прочностью контактной зоны цементного камня и зерен заполнителя, либо за счет изменения состояния приготавливаемого бетона за счет физического, физико-механического или химического воздействия непосредственно на бетон или на его отдельный компонент.

В работах известных зарубежных ученых [Salim Barbhuiyaa, 2024; Fadi A., Wajahat S.A., Muhammad S., Ahmed F.D., 2023; Mingyu Yang, Lin Chen, Jianzhong Lai and others, 2024; Binjie Tang, Huanyu Wu, Yu-Fei Wu, 2024; Thorne J., Bompa D.V., Funari M.F. and others, 2024] представлен опыт использования вяжущих материалов с применением шлака, метакеолина, прокаленной глины и известняка при производстве бетонов. У всех материалов более низкая температура обжига по сравнению с цементом, за счет чего снижается количество выбрасываемого углекислого газа, что позволяет их относить к экологически эффективным строительным материалам. Преимущества низкоуглеродистых композитов представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Оценка воздействия низкоуглеродистых композитов на окружающую среду по сравнению с традиционными композитами на основе цемента

Этап	Влияние низкоуглеродистых композитов	Влияние традиционного цемента	Преимущества
Добыча и транспортировка	Используются альтернативные вяжущие материалы, такие как шлак, сокращается добыча природных ресурсов. Возможность привязки производства низкоуглеродистых композитов к источникам сырья. Сокращение расходов на транспортировку, снижение выбросов при транспортировке	Добыча известняка приводит к нарушению среды обитания. Транспортные расходы из-за удаленности сырья	Низкоуглеродистые композиты сокращают потребность в первичном сырье, расходы на транспортировку, снижение выбросов при транспортировке
Производство	Сокращение выбросов CO ₂ за счет сокращения количества клинкера. Используются технологии улавливания CO ₂ . Производство менее энергоемкое	Высокие выбросы CO ₂ . Более энергоемкое производство	Низкоуглеродистые композиты обеспечивают значительное сокращение выбросов углекислого газа и потребления электроэнергии при производстве

Этап	Влияние низкоуглеродистых композитов	Влияние традиционного цемента	Преимущества
Применение	Улучшенные изоляционные свойства, позволяют создавать энергоэффективные здания. Повышенная долговечность, сокращение расходов на ремонтные работы	Умеренные теплоизоляционные свойства. Из-за износа может потребоваться более частый ремонт	Низкоуглеродистые композиты могут обеспечить долгосрочную экономия энергии в зданиях и сократить потребности в техническом обслуживании
По истечению срока службы	Имеется потенциал для переработки и повторного использования. Сокращение количества отходов	Ограниченные возможности переработки привели к увеличению количества отходов на свалках	Использование низкоуглеродистых композитов позволяет применять вторичную переработку и способствует минимизации отходов

Как отмечается в работе [Абдрахимов В.З., 2022], «использование отходов производства (шлаков) при изготовлении строительных материалов способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды, расширению сырьевой базы для получения жаростойких бетонов с высокими физико-механическими показателями на основе фосфатных связующих». Согласно исследованию [Ву Ким Зиен, Танг Ван Лам, Баженова С.И. и др., 2019], доменные шлаки могут заменить до 30% цемента при производстве бетона.

Метакаолин, являющийся высокодисперсным алюмосиликатом, образуется в результате обжига каолинистых глин в температурном диапазоне 650-750°C [Кузнецова Т.В., Нефедьев А.П., Коссов Д.Ю., 2015], обладая пуццолановой активностью обеспечивает при его совместном использовании с суперпластификатором прирост прочности бетона более 50% [Морозов Н.М., Боровских И.В., 2018; Краснобаева С.А., Медведева И.Н., Брыков А.С. и др., 2015; Сопегин Г.В., Семейных Н.С., 2018]. При этом установлено, что оптимальная степень замещения портландцемента метакаолином от 7,5% до 10%.

Смесь из прокаленной глины и известняка может заменить до 15 % цемента [Antoni M., Rossen J., Martirena F. and others, 2012]. Также авторы в лабораторных условиях добивались замены 60% клинкера. Помимо положительного экологического эффекта, использование смеси из прокаленной глины и известняка представляется перспективным из-за доступности сырья, в частности глины.

Авторы [Fadi A., Wajahat S.A., Muhammad S., Ahmed F.D., 2023; Mingyu Yang, Lin Chen, Jianzhong Lai and others, 2024] также подчеркивают, что отходы производства, такие как порошок стекла и керамической плитки, переработанные строительные отходы, жом и рисовая шелуха, а также вулканический пепел могут быть использованы для получения низкоуглеродистых бетонов. Их использование в качестве сырья для производства бетонов необходимо дополнительно исследовать.

Технология производства бетона из диоксида углерода Carbon Cure Technologies, разработанная Канадской компанией, позволяет использовать углекислый газ, выбрасываемый нефтеперерабатывающими предприятиями, заводами по производству удобрений [Вакуров А.Е., Абросимов И.П., 2018] и т.д. (рис. 1.2).

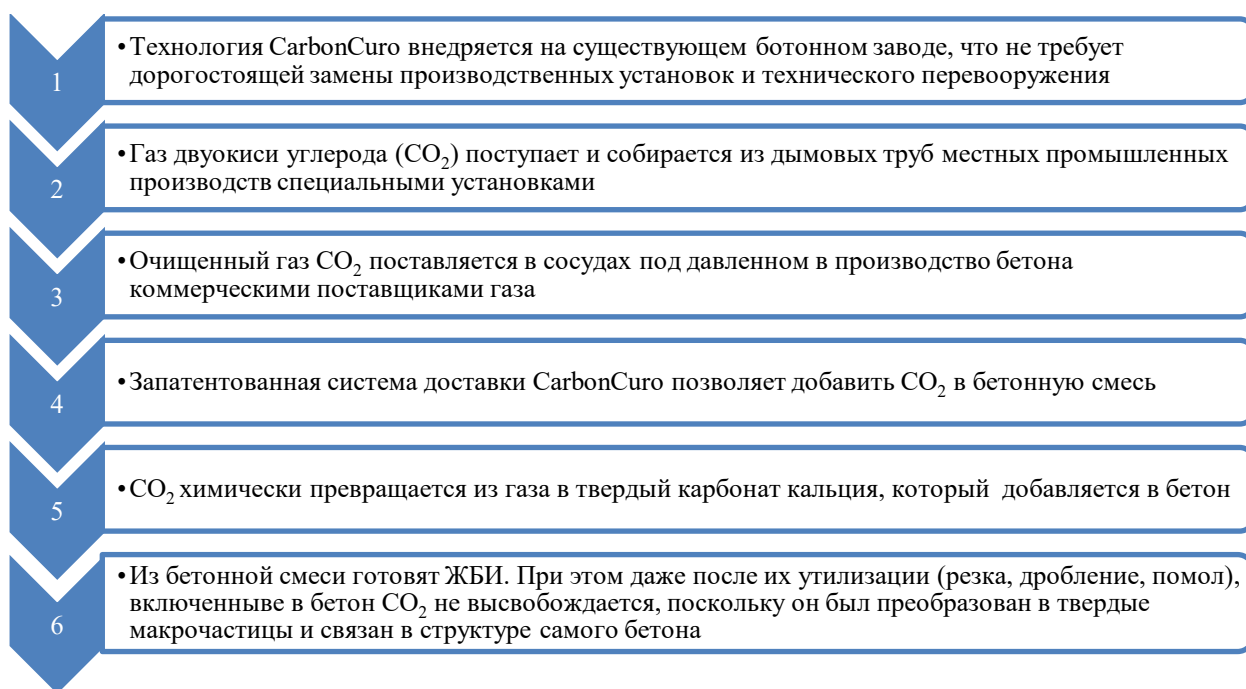


Рисунок 1.2 - Технология производства бетона методом CarbonCure

Технология компрессионного литья бетона как метод, предусматривающий предварительное давление на бетонную отливку, позволяет значительно уменьшить расход цемента, не снижая, а в большинстве случаев и улучшая физико-механические свойства изготавливаемого композита. Так, например, при давлении в 5 МПа прочность на сжатие увеличивается на 100 %, прочность на изгиб - на 34 % [Ipek M., Yilmaz K., Sümer M. and others, 2011; Ipek M., Yilmaz K., Uysal M., 2012].

Зарубежные ученые [Wu Y.F., Kazmi S.M., Munir M.J. and others, 2020] предложили технологию литья, при которой свежеслитый бетон сжимается напрямую с целью обеспечения плотной структуры и улучшения физико-механических свойств будущего композита, позволяющих сокращать расход вяжущего, однако при данной технологии возникают трудности при прессовании из-за ограничения несущей способности пресс-форм и производительности оборудования.

Другие ученые [Wang X., Wang J., Kazmi S.M. and others, 2022] предложили многослойное компрессионное литье бетона, позволяющее снизить расход вяжущего за счет обеспечения плотной однородной матричной структуры формируемого композита. Такая технология более эффективно может применяться для изготовления более крупных бетонных и железобетонных элементов.

Tang B., Wu H., Wu Y.F. [Tang B., Wu H., Wu Y.F., 2024] провели оценку выбросов при производстве строительного композита из переработанного каучукового наполнителя с применением в последующем технологии компрессионного литья бетона. Были сделаны выводы, что выбросы у обычного бетона и несжатого каучукового бетона выше в сравнении с композитом из переработанного каучукового наполнителя, изготовленного по технологии компрессионного литья бетона.

Метод ускоренной карбонизации свежесуложенного бетона (или технология захоронения CO₂) позволяет достигать ускоренного набора прочности бетона и получать изделия с лучшими эксплуатационными характеристиками. При этом

карбонизация бетона позволяет экономить цемент и энергоресурсы, а также способствует утилизации отходов от сжигания топлива, поскольку для карбонизации используется углекислота, полученная в результате сбора и очистки дымовых газов [Рузавин А.А., 2017].

В качестве альтернативы портландцементу в будущем может претендовать гидролизный лигнин, вяжущие щелочной активации на основе высокодисперсных порошков алюмосиликатной природы и другие бесклинкерные и малоцементные композиции [Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю., 2019; Сайдумов М.С., Муртазаев С.-А.Ю., Межидов Д.А., 2023]. Так, Грозненской научной школой на протяжении уже 7-8 лет активно ведется разработка бесклинкерных вяжущих систем для новых строительно-композиционных материалов. В проводимых исследованиях щелочная активация тонкодисперсных порошков осуществлялась жидким натриевым стеклом Na_2SiO_3 (силикатный модуль 2,8, плотность $1,42 \text{ г/см}^3$). Необходимым условием, предъявляемым к минеральным порошкам вяжущей системы, было присутствие алюмосиликатной фазы, выбор остановился на аспирационной и клинкерной пыли (рис. 1.3) портландцементного производства, имеющей откорректированный состав, соответствующий готовому клинкеру. Аспирационная пыль также, как и щелочной активатор, является ключевым звеном связки «аспираторная пыль – Na_2SiO_3 », благодаря наличию аморфного метаксаолина [Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., 2020].

Кроме того, следует отметить, что утилизация аспираторной пыли эффективна во всех аспектах, удельная поверхность в естественном виде находится в пределе $250 - 280 \text{ м}^2/\text{кг}$, нет необходимости в механоактивации продукта; освобождаются земельные уголья и засоренные реакционной пылью близлежащие территории; вторичное использование не требует вложения материальных средств. Клинкерная пыль извлекается из пылеочистной системы и возвращается в технологический цикл [Саламанова М.Ш., Гацаев З.Ш., Сызранцев В.В., 2022].

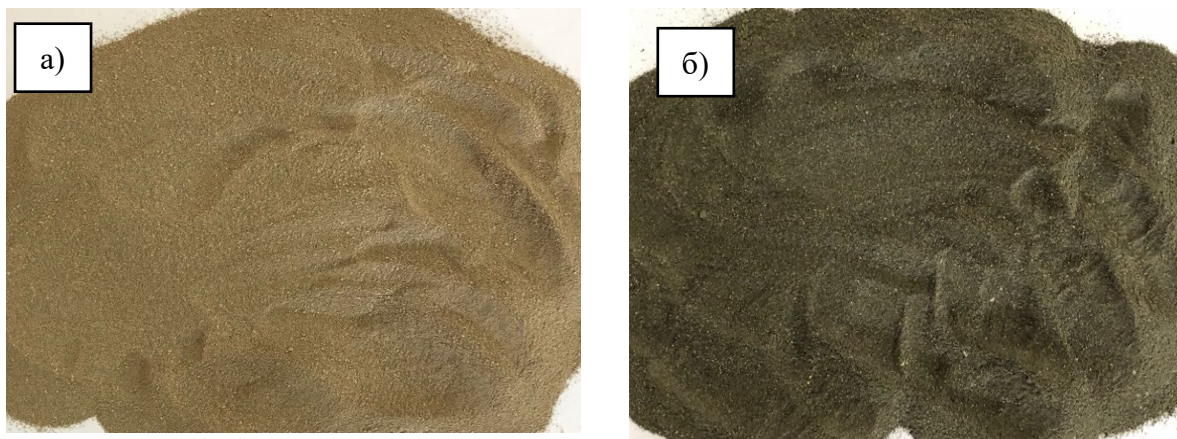
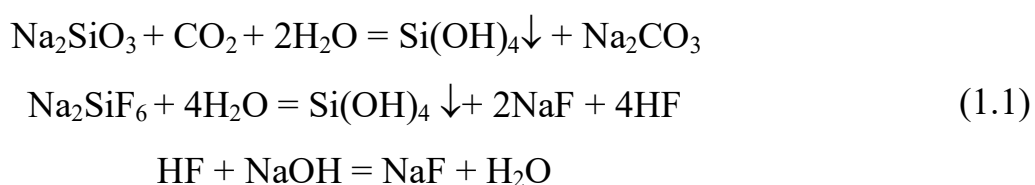


Рисунок 1.3 - Фотографии минеральных порошков: а) аспирационная пыль; б) клинкерная пыль

При затворении щелочным раствором твердой фазы, образуется пластичное тесто, нормальная густота изменялась в диапазоне 70 – 72 %, начало твердения наступало через 8 – 10 минут. Взаимодействие щелочной части с CO_2 как раз отражает картину набора прочности достаточно сложной многокомпонентной системы «минеральный наполнитель – щелочной компонент» согласно следующей реакции:



Именно благодаря углекислоте воздуха выпадает в осадок кремнекислота и начинается процесс твердения щелочной вяжущей системы. Ускоритель твердения кремнефтористый натрий содействует расщеплению натриевых силикатов и структурообразованию искусственного камня, оптимальная дозировка Na_2SiF_6 составила 6% от массы щелочи.

Отходы карбонатного производства, затворенные как водой, так и щелочным раствором, проявили вяжущую способность, результаты исследований показаны в табл. 1.2. Установлена реакционная активность минеральных порошков техногенного происхождения, результаты качественного рентгенофазового исследования полученного камня показали, что щелочная активация аспирационной пыли в ходе гидратационных и

геопреобразований привела к синтезу таких минералов, как кальцит, кварц, ларнит, полевые шпаты разного состава, оксид магния; мусковит и цеолиты различного состава (рис. 1.4) [Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю., 2019].

Таблица 1.2 - Свойства щелочных вяжущих систем

№	Показатели качества	Клинкерная пыль, S _{уд} = 210 м ² /кг		Аспирационная пыль, S _{уд} = 280 м ² /кг		
		вид затворителя				
		Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	Na ₂ SiO ₃ + Na ₂ SiF ₆
1	Нормальная густота щелочного цементного теста, %	50,0	30,0	72,5	42,0	70,0
2	Сроки схватывания, начало/ конец, час–мин.	<u>00–40</u> 01–20	<u>00–54</u> 01–56	<u>00–16</u> 00–31	<u>06–08</u> 07–16	<u>00–24</u> 00–36
3	Прочность на сжатие, 28 сут, МПа	32,1	18,2	30,4	7,2	36,4

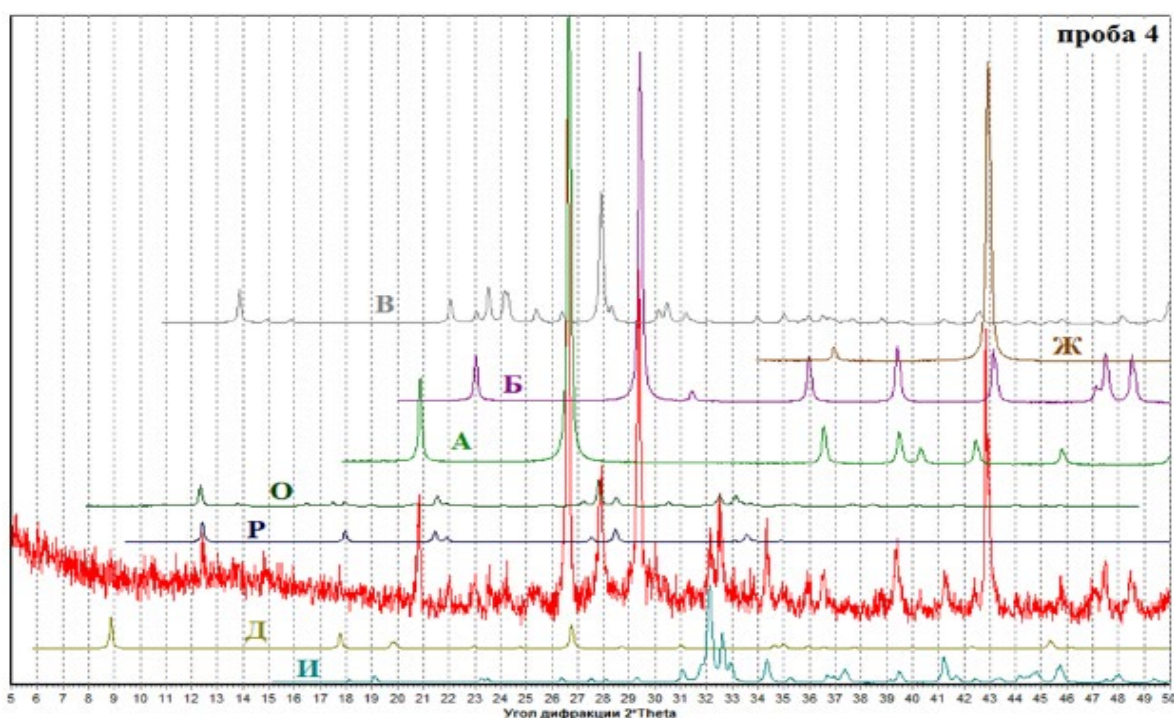


Рисунок 1.4 - Дифрактограмма образца «аспирационная пыль – Na_2SiO_3 »:

А – кварц, Б – кальцит, В – альбит, Д – мусковит, И – ларнит, Р – гарронит, Ж – оксид магния'

Группа цеолитов представлена яркими рефлексамии гарронита, и обнаружены небольшие флуктуации в области рефлексов анальцима, указывающие на наличие этого соединения на момент исследования в незначительном количестве.

Электронно–зондовый микроанализ указывает на преобладание в основной микрокристаллической массе кальциевых силикатов, алюминатов, сульфоалюминатов и их гидратов (табл. 1.2). Результаты анализа агрегата кристаллов кальциевых силикатов представлены в табл. 1.3 и на рис. 1.5 и 1.6.

Таблица 1.3 - Результаты анализа агрегата кристаллов кальциевых силикатов

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	FeO	Итог
1	0.00	0.81	5.34	41.40	0.50	0.00	36.64	0.68	85.36
2	0.25	1.72	6.04	36.98	0.00	0.00	35.43	1.02	81.44
3	0.33	1.14	0.96	28.78	0.00	0.18	64.20	0.85	96.44
4	0.00	0.00	2.94	29.77	0.00	0.00	46.01	0.00	78.72
5	0.17	0.39	4.70	34.97	0.00	0.29	36.16	0.70	77.39

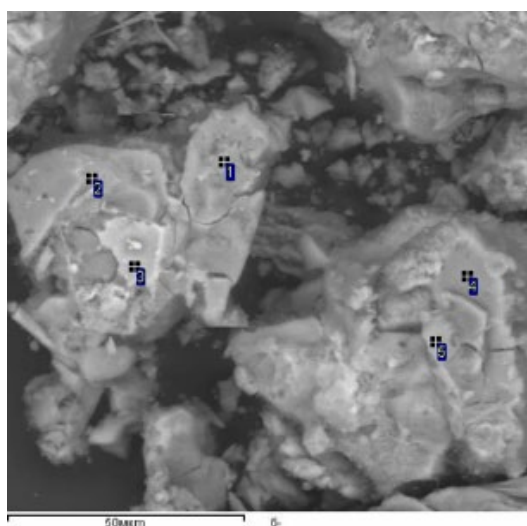


Рисунок 1.5 - Типичные агрегаты кристаллов кальциевых силикатов

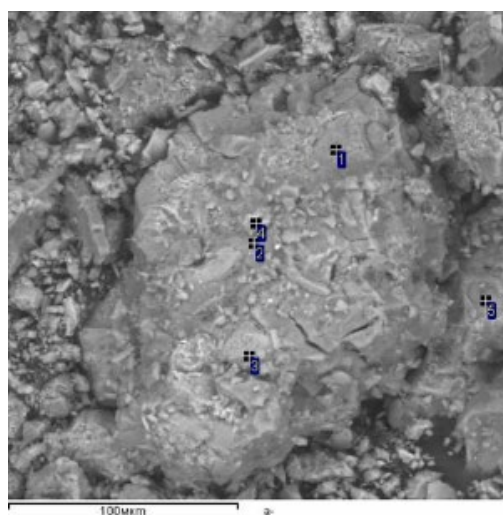


Рисунок 1.6 - Типичные массивные агрегаты кальциевых силикатов

Приведенные результаты исследований [Устойчивое развитие в строительстве, 2024; Фомина Л.В., 2022; Uliasz-Bocheńczyk A., 2027]

подтверждают эффективность и перспективность бесклинкерного направления производства низкоуглеродных вяжущих. Отход от существующей карбонатной технологии цемента, позволит снизить колоссальную нагрузку на окружающую среду, щелочная активация алюмосиликатного сырья раскрывает новые возможности в строительной сфере, полученные гидратные образования являются аналогами природных минералов и отличаются высокой прочностью и долговечностью.

Таким образом, постепенный отход от карбонатной технологии будет способствовать сокращению выбросов углекислоты в окружающую среду, переход на низкоуглеродистые бетоны связан с заменой вяжущей составляющей, использованием минеральных тонкодисперсных добавок, что обеспечивает сохранение или улучшение основных параметров структуры строительного материала. Несмотря на явный положительный экологический эффект от использования низкоуглеродистых бетонов, требуется дальнейшее более глубокое изучение их составов и свойств, поскольку показатели низкоуглеродистых бетонов изучены различными отечественными и зарубежными учеными лишь «фрагментально». Особенно важно исследовать такие экологически эффективные строительные композиты с учетом факторов, встречающихся по всей технологической цепочке разрабатываемого материала, - природы происхождения сырья для бетона (техногенное или природное), обжиговая или безобжиговая технология, назначения продукции, условия эксплуатации и т.д.

1.2.2 План проведения экспериментальных и теоретических исследований

Как было отмечено выше, целью исследований 1 этапа настоящей работы являлось проведение анализа эколого-материаловедческих проблем образования источников эмиссии парниковых газов на урбанизированных территориях.

В рамках первого этапа работы необходимо было решать следующие научные задачи:

- разработать концепцию и создать на базе Грозненского государственного

нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова Молодежную лабораторию низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала урбанизированных территорий;

- обозначить эколого-материаловедческие проблемы образования источников эмиссии парниковых газов на урбанизированных территориях;

- раскрыть современные представления и основные принципы получения строительных композитов полифункционального назначения с низким углеродным следом.

Для решения поставленных задач предложен следующий план проведения экспериментальных и теоретических исследований:

1. Создание молодежной лаборатории;

- 1.1 Разработка концепции создания и развития молодежной лаборатории в области низкоуглеродных строительных технологий;

- 1.2 Подбор и обоснование выбора научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории;

2. Изучение эколого-материаловедческих проблем образования источников эмиссии парниковых газов на урбанизируемых территориях;

- 2.1 Анализ факторов различной природы, влияющие на экологическую обстановку в регионе;

- 2.2 Урбанистика и управление территориальным развитием;

- 2.3 Эффективные стратегии в управлении отходами;

- 2.4 Вклад урбанизированных территорий на эмиссию парниковых газов;

3. Изучение современных представлений и основных принципов получения вторичных композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом;

- 3.1 Анализ энергоемкости, эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии;

- 3.2 Современные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки, в технологии интеллектуальных

композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом;

3.3. Проведение патентных исследований применительно к теме исследования;

3.4 Исследование степени экологической нагрузки на окружающую среду от многотоннажных отвалов техногенной природы;

3.5 Техногенные отходы как источник новых месторождений сырья для получения зеленых композиционных материалов полифункционального назначения с уникальными свойствами;

3.6 Исследование влияние химического и минералогического составов минеральных составляющих исходного сырья различной природы на состав новообразований, структуру и секвестрационный потенциал получаемого композита их основе;

3.7 Разработка рабочей гипотезы о возможности получения интеллектуальных (зеленых) композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья.

Научно-исследовательские работы в рамках 2-го и 3-го этапов предусматривают:

- Рецептурно-технологические факторы получения вторичных низкоуглеродных композиционных материалов полифункционального назначения;

- Низкоуглеродная технология повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы урбанизированных территорий и получения вторичных композиционных материалов полифункционального назначения;

- Технико-экономическое обоснование результатов работы;

- Опытно-промышленное внедрение результатов работы.

1.3 Подбор и обоснование выбора научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории

Подбор и обоснование выбора научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории производился с учётом приоритетных направлений развития науки и технологий, а также значимости исследований для различных отраслей экономики. Список закупленного в 2024 году оборудования представлен в Приложении 3. На следующих этапах планируется дооснастить лабораторию необходимым оборудованием и различными газоанализаторами для комплексной оценки эмиссионного или секвестрационного потенциала исследуемых строительного-композиционных материалов.

Выводы по 1-ой главе

1. С целью вовлечения молодых ученых в решение важнейших исследовательских задач, создание кооперации сфер образования и науки с реальным производством в регионе разработана концепция создания и развития Молодежной лаборатории низкоуглеродных строительных технологий «Эко-Материаловед» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, которая включающая в себя цель, функции и основные задачи деятельности молодежной лаборатории, а также организационную структуру и ее расположение.

2. С целью выбора и обоснования оптимального варианта направления экспериментальных и теоретических работ разработан план их проведения. Достоверность представленного плана обоснована проведением анализа современных подходов и представлений получения новых строительных композиционных материалов с низким углеродным следом, в том числе получаемых с применением вторичного сырья из техногенных отходов.

Установлено, что сокращение выбросов углекислого газа при производстве низкоуглеродистых бетонов происходит в результате либо замены части цемента другими видами вяжущих или специальных наполнителей, обеспечивающих

сохранение или улучшение основных параметров структуры строительного материала, либо за счет технологий, способствующих сокращению клинкерной доли вяжущего с сохранением заданных свойств бетона.

3. С учётом приоритетных направлений развития науки и технологий, а также значимости проведения дальнейших исследований для успешной реализации проекта произведен выбор научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории.

2. ЭКОЛОГО-МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

2.1 Анализ факторов различной природы, влияющие на экологическую обстановку в регионе

В Чеченской Республике имеются большие запасы природного и техногенного сырья для развития строительной индустрии. В горных районах сосредоточены запасы цементных мергелей, известняков, доломитов, крупные месторождения строительных и стекольных песков, известняка-ракушечника, песчаников, в том числе огромные залежи гипсов.

С русла реки Ахк Веденского района (рис. 2.1) и реки Аргун (рис. 2.2) открытым способом с применением экскаваторов добывают песчано-гравийные смеси (ПГС) для получения из нее щебня из гравия, чистого гравия и песка.



Рисунок 2.1 – Добыча песчано-гравийной смеси с русла реки Ахк
Веденского района ЧР

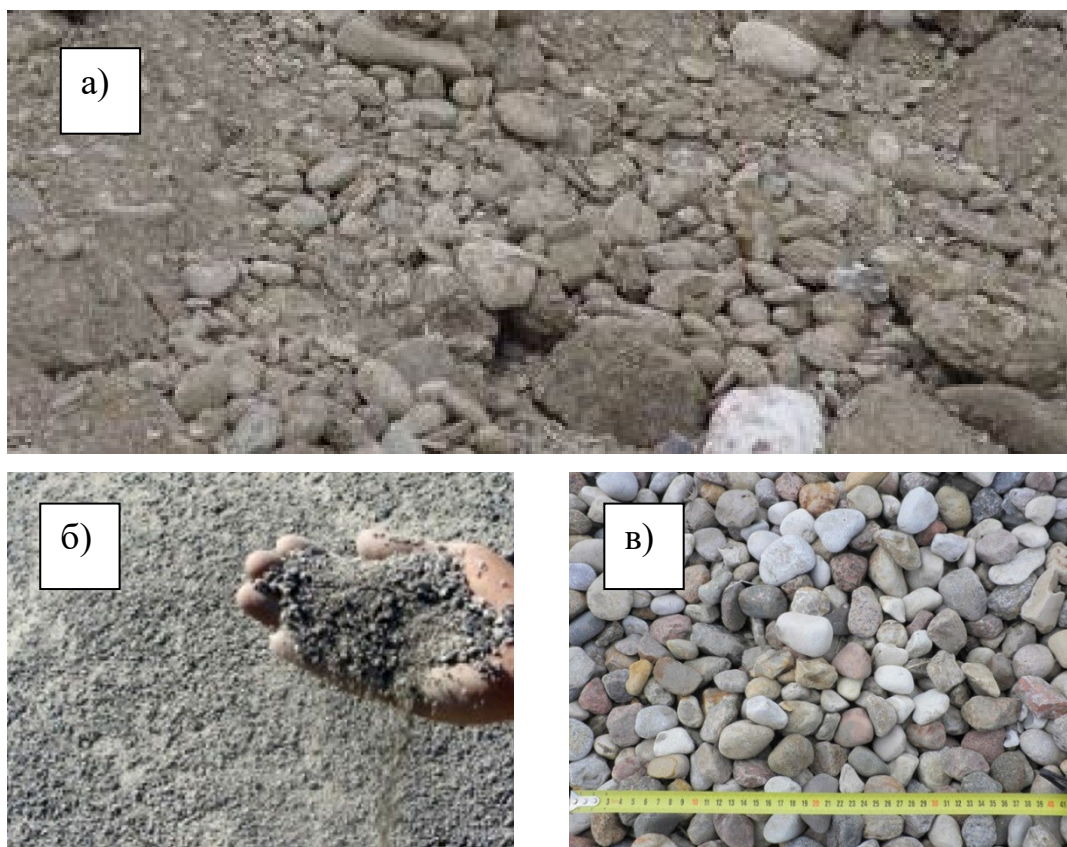


Рисунок 2.2 - Песчано-гравийная смесь (ПГС) Аргунского месторождения:
а – ПГС в естественном виде; б – песчаная фракция из ПГС, полученная ее
путем; в – гравий из ПГС

При рациональном использовании имеющейся минерально-сырьевой базы на основе передовых технологий можно получить конкурентоспособную продукцию, не уступающую зарубежным аналогам [5,35,36].

В Чеченской Республике накоплен огромный объем отходов техногенной деятельности. Это в первую очередь отходы разборки зданий и сооружений, не пригодных для восстановления после военных действий в 90-е и в начале 2000-х гг. (рис. 2.3 – 2.5).

Их утилизация может внести весомый вклад в дело восстановления Чеченской Республики и охраны окружающей среды.

Кроме отходов сноса и строительства зданий в республике с 1929 года до последних лет функционировали три ТЭЦ. За долгие годы их эксплуатации накоплены тысячи тонн золошлаковых отходов, занимающих значительные территории, толщина которых местами достигает 10-ти метров (рис. 2.6).



Рисунок 2.3 – Техногенное сырье в виде железобетонного лома от разрушенных зданий и сооружений в ЧР, конец 90-х годов



Рисунок 2.4 – Кирпичный бой после сноса здания из кирпича



Рисунок 2.5 – Техногенное сырье в виде бетонного и железобетонного лома разборки зданий и сооружений



Рисунок 2.6 – Техногенное сырье в виде золошлаковых отходов ТЭЦ

Золошлаковые отходы могут с успехом быть использованы в мелкозернистых или в обычных бетонах и мировой опыт их применения в строительстве это подтверждает.

Отраслевая структура промышленного производства Чеченской Республики крайне непропорциональна. В качестве основных секторов экономики, которые целесообразно развивать, и которые будут приносить значительный доход в её бюджет, следует выделить строительную индустрию.

В республике до настоящего времени не налажена технология получения легкого заполнителя в виде керамзита, аглопорита и их разновидностей, хотя по территории имеются тринадцать месторождений глины для их изготовления в восьми районах из пятнадцати (рис. 2.7).

Наурский район. Район располагает одним месторождением глины для изготовления кирпича, керамзита и др.

Шелковской район. Район располагает двумя месторождениями глины для изготовления изделий на ее основе, а также карьером песка мощностью 500 тыс. м³.

Надтеречный район. Район располагает одним месторождением глины для

изготовления изделий на ее основе.

Грозненский район. Район располагает четырьмя месторождениями глины для изготовления кирпича.

Ачхой-Мартановский район. Район располагает одним месторождением глины.

Шалинский район. Район располагает двумя месторождениями глины для изготовления кирпича и одним месторождением керамзитовой глины.

Гудермесский район. Район располагает одним месторождением глины.

Ножай-Юртовский район. Район располагает одним месторождением глины.

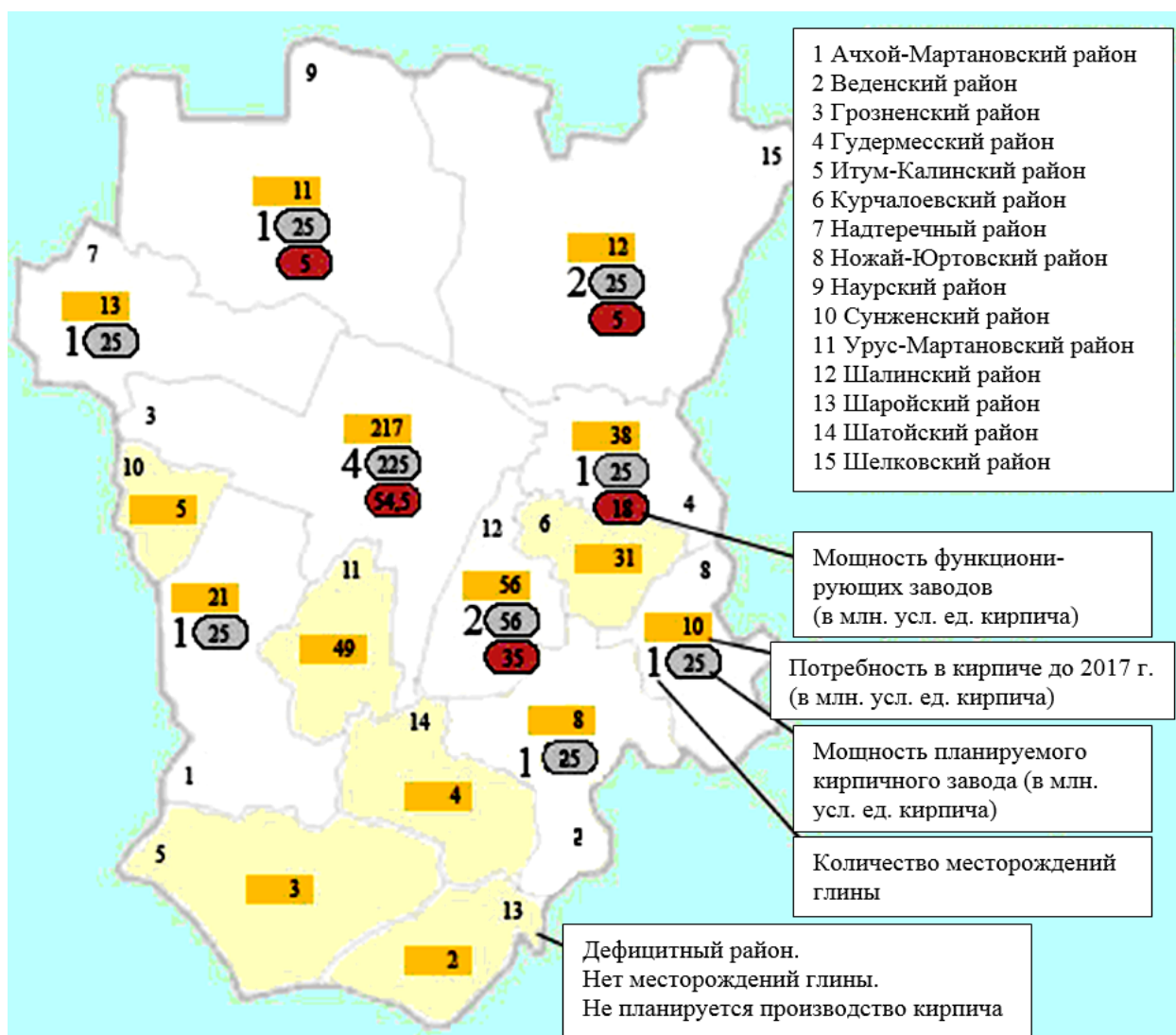


Рисунок 2.7 – Карта размещения карьеров сырья, действующих и планируемых кирпичных заводов

Анализ материально-сырьевой базы показывает, что республика располагает необходимыми природными и техногенными ресурсами для обеспечения нового строительства основными энерго- и ресурсосберегающими строительными материалами.

Комплексное применение природного и техногенного сырья в производстве строительных композиционных материалов демонстрирует значительный синергетический эффект, объединяя экологические, экономические и технологические преимущества. Во-первых, такая интеграция способствует снижению нагрузки на природные ресурсы, поскольку техногенные отходы (например, вскрышные породы, шлаки, строительный лом) заменяют традиционные материалы, такие как цемент или природный щебень. Это не только уменьшает объемы добычи первичного сырья, но и сокращает энергозатраты на его обработку, что напрямую коррелирует с сокращением углеродного следа строительной отрасли [1-5].

Во-вторых, использование техногенного сырья, такого как отходы горнопромышленного комплекса или переработанные строительные материалы, позволяет создавать композиты с улучшенными физико-механическими свойствами. Например, доменные шлаки и золы уноса, обладающие скрытыми вяжущими свойствами, могут повышать прочность и долговечность бетонных смесей, а металлургические отходы, модифицированные добавками, демонстрируют повышенную морозостойкость и химическую устойчивость. Это особенно важно в условиях экстремальных климатических и эксплуатационных нагрузок, где традиционные материалы могут оказаться недостаточно эффективными.

Третий аспект связан с экологической безопасностью. Переработка промышленных отходов в строительные материалы снижает объемы их складирования, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Например, утилизация отходов обогащения руд или резиновой крошки из изношенных шин не только предотвращает загрязнение почвы и водных ресурсов, но и создает новые продукты с уникальными свойствами, такими как

шумопоглощение или виброизоляция [13].

Наконец, экономический эффект проявляется в снижении себестоимости строительных материалов за счет использования доступного вторичного сырья и оптимизации логистики. Региональная переработка отходов, таких как отсеvy дробления или некондиционные породы, сокращает транспортные издержки и стимулирует развитие локальных производственных цепочек [12].

Таким образом, комплексное применение природного и техногенного сырья в строительных композитах формирует устойчивую модель ресурсоэффективного производства, сочетающую инновационные технологии, экологическую ответственность и экономическую целесообразность.

2.1.1 Природные условия и ландшафты Чеченской Республики

2.1.1.1 Геоморфология

Изучением рельефа как Кавказа в целом, так и его регионов занимались [Герасимов И.П. 1980; Думитрашко, 1966; Ефремов, Антошкина, 2005; Рейнгард, 1947; Рыжиков и др., 1991; Сафонов, 1964].

Рельеф Чеченской Республики сильно расчленен. Глубина расчленения возрастает к югу. В области предгорий она составляет 700–800 м, в среднегорьях достигает 1500–1800 м, а в высокогорьях – до 2500–3000 м и выше.

Равнинная часть представлена Терским песчаным массивом, который в основном находится в пределах исследуемого региона и представляет собой дельту древней Куры. Наиболее распространенными здесь являются грядовые и бугристые формы рельефа в сочетании с эоловыми.

Предгорья осложнены Терским и Сунженским хребтами, расположенными между реками Терек и Сунжа к западу от меридиана г. Грозного. Между ними проходит Алханчуртская долина. В пределах территории Чеченской Республики высоты Терского и Сунженского хребтов достигают соответственно около 510 м и 650 м. Брагунский и Гудермесский хребты считаются орографическим продолжением Терского хребта на востоке. Между Терским и Сунженским хребтами расположен Грозненский хребет. К юго-востоку от Сунженского

хребта расположен Новогрозненский хребет.

Между Терским песчаным массивом и горной частью простирается Чеченская предгорная равнина с отметками абсолютных высот до 200 м. У северной ее границы расположен г. Грозный. Река Сунжа является естественной границей между равниной и Терско-Сунженской возвышенностью.

Южная горная часть территории представлена системой хребтов: Черные горы, Пастбищный, Скалистый, Боковой хребты.

Черные горы самые низкие. Их склоны покрыты густыми лесами, которые придают им темную окраску, что и отражено в названии. Рельеф в этой части сильно расчленен. Основные формы рельефа – хребты меридионального или близкого к нему направления. Высота гор постепенно увеличивается к югу. Абсолютные высоты в пределах Черных гор 400–1200 м.

К югу от них протягивается Пастбищный хребет. На его склонах много богатых пастбищ, давших ему такое название. Северные склоны длинные и пологие, южные – крутые и обрывистые. Многие вершины Пастбищного хребта поднимаются выше 2000 м.

За Пастбищным хребтом следует Скалистый, так же представляющий собой ряд горных цепей с пологими северными и крутыми южными склонами. Средняя высота гор 3000 м.

Вдоль южного склона Скалистого хребта протягивается серия межгорных котловин (Галанчожская, Шаройская, Итумкалинская), являющихся продолжением Североюрской депрессии.

Боковой хребет, протягивающийся вдоль южной границы Чеченской Республики, представлен высочайшими горными массивами: г. Тебулос-Мта (4493 м) – самая высокая точка в пределах всего Восточного Кавказа, Комито-Датах-Корт (4271 м), Донос-Мта (4178 м), Диклос-Мта (4274 м) и др. В целом они образуют хорошо выраженный в рельефе водораздельный хребет. Здесь представлены типичные альпийские формы рельефа (цирки, кары, морены).

2.1.1.2 Климат

Климат Кавказа и Чеченской Республики описан в работах [Алисов, 1956; Гвоздецкий, 1954; Мячкова, 1983; Темникова, 1959; Чубуков, 1966; Рыжиков и др., 1991].

Чеченская Республика расположена в южной части умеренного климатического пояса. С ее географическим положением связано значительное количество тепла, поступающего от солнца в течение всего года. Поэтому в республике лето жаркое и продолжительное, а зима мягкая и короткая.

Несмотря на свои небольшие размеры, ЧР отличается значительным разнообразием климатических условий. На территории встречаются все переходные типы климатов, начиная от засушливого климата Терско-Кумской полупустыни и кончая холодным, влажным климатом снежных вершин Бокового хребта.

Влияние рельефа на климат наиболее отчетливо проявляется в южной горной части. Если на равнинах ЧР, где воздушные массы перемещаются свободно, устанавливаются более или менее однородные климатические условия, то в предгорьях и в горах даже на небольших площадях наблюдаются резкие климатические контрасты.

Влияние горного рельефа на климат многообразно. С увеличением высоты над уровнем моря понижается температура воздуха. Существенное влияние на количество получаемого от солнца тепла оказывает ориентировка склонов относительно сторон горизонта и их крутизна. Естественно, что больше солнечного тепла в горах получают южные склоны, а меньше - северные.

В горах с особенностями рельефа связано как количество выпадающих атмосферных осадков на той или иной высоте, так и их неравномерное распределение между склонами разной экспозиции.

Горы оказывают отклоняющее действие на воздушные потоки. Направление ветра здесь зависит от направления долин и хребтов. В узких участках долин-ущельях- ветры сильнее.

В северной части республики климат континентальный, засушливый. Лето

продолжительное и жаркое, средняя температура июля достигает 25,5° С. Зима малоснежная, мягкая, средняя температура января -3° – -3,5° С, но бывают снежные бураны с морозами ниже 30° С. Осадков здесь выпадает от 300 до 450 мм в год.

Господствующими ветрами на равнинах республики являются ветры восточных и западных направлений. В теплый сезон восточные ветры в северных районах республики нередко приобретают характер суховеев.

В предгорьях средняя июльская температура 20 - 21° С, а средняя январская снижается до -4,5--5° С. Количество осадков увеличивается до 600-800 мм. В предгорьях наблюдаются типичные для горных стран ветры: фены и горнодолинные.

В высокогорных районах средняя январская температура на высотах 3000 м достигает -11° С, а средняя июльская не превышает +7- +8° С. Однако самые суровые морозы бывают не в горах, а на равнинах. На Терско- Кумской низменности температура воздуха зимой может доходить до -35° С, в то время как высоко в горах она не опускается ниже -27° С.

Резкое понижение температуры на равнинах обычно связано с вторжением холодных масс воздуха из Арктики или Сибири.

Весна в республике наступает рано. Уже в марте на равнинах и в предгорьях средняя месячная температура выше 0° С. Резкое повышение температуры происходит в апреле и мае.

В горах весна наступает позже, чем на равнинах: на высоте 2000 м – в апреле, а 3000 м – в мае. Осень, наоборот, раньше начинается в горах в конце августа, а на равнинах в октябре.

Безморозный период более продолжителен на Терско-Кумской низменности и Чеченской равнине, где он составляет 190-200 дней. К югу продолжительность уменьшается, и на высоте 3000 м этот период сокращается до 80-90 дней.

Атмосферные осадки распределяются на территории республики весьма неравномерно. Их величина возрастает к югу от равнин к горам. Меньше всего

осадков выпадает в северной части республики (300-400 мм). В предгорьях количество осадков увеличивается до 700-800 мм, а в высокогорьях достигает 1000 мм и более.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Наибольшее их количество приходится на теплую половину года. Максимум осадков выпадает в июне - июле. Летние осадки чаще всего носят характер ливневых дождей. Минимум осадков на равнинах и в горах бывает зимой.

Снеговой покров на равнинах устанавливается в декабре и сходит в марте. Но благодаря малому количеству зимних осадков и частым оттепелям он неустойчив. В течение зимы может несколько раз появляться и несколько раз стаивать. Снеговой покров в горных районах появляется раньше - в ноябре, а вершины с высотами около 3000 м покрываются снегом уже в сентябре. Таять снег начинает в апреле, в высоких же горах держится до мая. На горных вершинах, имеющих высоту более 3700 м, снег сохраняется в течение всего года. Благодаря низким температурам здесь даже летом осадки могут выпадать в виде снега.

2.1.1.3 Водные ресурсы

Чеченская Республика является одной из наиболее обеспеченной водными ресурсами (как поверхностными, так и подземными) территорией Российской Федерации. Водные ресурсы республики сосредоточены в реках, озерах, водохранилищах, ледниках и в недрах земли.

Речная сеть распределена по территории республики неравномерно. Горная часть и прилегающая к ней Чеченская равнина имеют густую, сильно разветвленную речную сеть. На Терско-Сунженской возвышенности и в районах, расположенных к северу от Терека, рек нет.

По водному режиму реки ЧР можно разделить на два типа: первый тип – реки, в питании которых важную роль играют ледники и высокогорные снега. К ним относятся Терек, Сунжа (ниже впадения Ассы) и Аргун. Эти реки имеют половодье в летний период, когда энергично тают снега и ледники высоко в

горах.

Ко второму типу относятся реки, берущие начало из родников. В эту группу входят реки: Валерик, Гехи, Мартан, Гойта, Джалка, Белка, Аксай и другие. У них не бывает летнего половодья.

Водный режим рек обоих типов характеризуется резкими паводками в летний период.

Горная и предгорная части республики и Чеченская равнина богаты грунтовыми водами, но из-за обилия рек и родников, они почти не используются.

Иначе обстоит дело в северных районах республики, расположенных в пределах Терско-Кумской низменности. Здесь нет рек, и грунтовые воды имеют большое хозяйственное значение. Глубина колодцев, вскрывающих грунтовые воды, нередко бывает больше 10 метров. Иногда вода имеет солоноватый привкус.

Большую роль в водоснабжении маловодных районов республики играют артезианские воды. Артезианские воды образуются там, где глубокие водоносные и водоупорные пласты залегают вогнуто. В местах, где подземные воды выходят на поверхность образуются источники или родники. Особенно много родников в горах и на Чеченской равнине. Родниковые воды широко используются для водоснабжения населенных пунктов.

В горной части и на Терско-Сунженской возвышенности встречаются минеральные источники: серные, солено-щелочные, железо-щелочные, соленые.

На Сунженском, Брагунском и Гудермесском хребтах вода некоторых источников выходит с большой глубины и имеет высокую температуру (90°C). На территории ЧР термальные воды распространены повсеместно и практически не используются. В республике 14 разведанных месторождений термальных вод, а также разведаны и утверждены запасы по 15 месторождениям пресных подземных вод в объеме 1262,4 тыс. м³/сут. Воды многих минеральных и горячих источников обладают ценными целебными свойствами [Мачигова, 2014].

Озера в республике встречаются как на равнинах, так и горной части. В зависимости от условий образования своих котловин на территории республики

выделяются следующие типы озер: эоловые, пойменные, запрудные, карстовые, тектонические. Эоловые озера встречаются в Притерском песчаном массиве, они располагаются в котловинах выдувания.

Пойменные озера приурочены к долинам рек Терека, Сунжи и Джалки. Занимают старые русла, и глубина их не превышает 3 метров.

Запрудные озера образуются в результате горных обвалов, перегораживающих долины рек естественной плотиной. К этому типу относится озеро Кезеной-Ам, расположенное на южном склоне Андийского хребта, на высоте 1870 метров над уровнем океана. Его площадь около двух квадратных километров, максимальная глубина 72 метра. Это самое крупное высокогорное озеро на Северном Кавказе [Рыжиков, 1972].

Небольшие карстовые озера можно встретить на гребне Андийского хребта.

Наиболее крупные реки республики - Терек, Сунжа, Аргун. Протяженность р. Терек на территории ЧР – 180 км, площадь водосбора – 14300 км². Самая крупная водная артерия республики река Сунжа. Бассейн р. Сунжи состоит из 6622 водотоков с общей длиной 23764 км. Площадь водосбора р. Сунжа (г. Грозный) – 4820 км², р. Аргун (с. Дуба-Юрт)–3190км². В восточной части ЧР протекают трансграничные с республикой Дагестан реки: Аксай, Акташ, Ярык-Су, Яман-Су [Водно-ресурсный потенциал Чеченской Республики, 2007].

2.1.1.4 Почвы и растительность

Изучением почв и растительности Кавказа и его отдельных регионов занимались [Акимцев, 1928; Галушко, 1978; Головлев, 1988, 1991; Гребенщиков О.С., 1980; Гроссгейм А.А., 1948; Гулисашвили и др., 1975; Захаров, 1913; Зонн, 1933; Новопокровский, 1925; Прибытков, 1981; Середин, 1980].

Почвы. Формирование почвенного покрова Чеченской Республики проходило в условиях сложной физико-географической обстановки. Поднятие и обсыхание, опускание и заболачивание отдельных участков территории, таяние ледников и образование аккумулятивных равнин, изменение направления русел рек, дифференциация климата и растительного покрова положили существенный

отпечаток на характер почвенного покрова.

В настоящее время на сравнительно небольшой территории республики насчитывается около двадцати типов почв, образующих при своем сочетании порою очень сложный рисунок. Распределение их подчиняется таким географическим закономерностям, как широтная зональность и высотная зональность.

По схеме почвенного районирования Кавказа В.М. Фридланда [Фридланд, 1966], территория ЧР отнесена к гумидной и аридной почвенно-климатическим областям умеренного климатического пояса. В пределах областей выделяются провинции и округа.

Восточно-Кавказская провинция гумидной почвенно-климатической области охватывает зоны горных коричневых, горно-лесных бурых типичных и горно-луговых почв, а на известняках — значительных массивов дерново-карбонатных почв. Данная провинция не подразделяется на более мелкие единицы районирования.

Бурые горно-лесные почвы — наиболее распространенные горные почвы всего Кавказа. Они развиваются в условиях преобладания осадков над испаряемостью и образуют вертикальную зону почти на всей территории Северного Кавказа за исключением Внутреннего Дагестана. В зависимости от увлажнения, зона распространения этих почв может начинаться с высоты 300–400 м и подниматься до 1800–2000 м, а в сухих местообитаниях и выше.

Бурые горно-лесные почвы в данном районе типичны под буковыми, дубово-грабовыми и другими мезофильными лесами на щебнистых продуктах выветривания плотных горных пород. В их профиле, общая мощность которого редко превышает 80 см, под лесной подстилкой (1–5 см) залегает серовато-бурый гумусовый горизонт (10–15 см), содержащий от 6 до 15% гумуса. С увеличением глубины количество гумуса очень редко убывает очень резко, но общая мощность гумусированных горизонтов обычно составляет 50–60 см. Подгумусовые горизонты имеют бурый цвет и ореховато-комковатую структуру. Механический состав глинистый или щебнисто-суглинистый.

Дерново-карбонатные и горные дерново-карбонатные почвы (другие названия — перегнойно-карбонатные, рендзины) развиваются под лесной растительностью на карбонатных почвообразующих породах в условиях преобладания осадков над испаряемостью. Высокая карбонатность почвообразующих пород обуславливает отличие дерново-карбонатных почв от других типов лесных почв. Профиль их темно-серый в верхней части и постепенно осветляется вниз, переходя в породу. Количество гумуса в верхних горизонтах составляет 6–10%; структура гумусовых горизонтов мелкокомковато-зернистая и зернистая, прочная, строение рыхлое. Основным массив данных почв связан с районами, сложенными известняками, мергелями и другими карбонатными породами.

Горно-луговые почвы характеризуются плотным дерновым коричнево-бурым горизонтом мощностью 15–25 см, в котором вместе с мелкоземом залегают остатки пород. С глубиной количество обломков быстро увеличивается, а количество мелкозема и органического вещества уменьшается и почва постепенно сменяется плотной породой. Содержание гумуса в верхних горизонтах обычно составляет 15–20%, а общее количество органических остатков может достигать 50–60%. Горно-луговые почвы альпийских лугов более богаты органическим веществом, их верхние горизонты нередко имеют торфянистый характер, они более кислы и более ненасыщены. Почвы субальпийских лугов менее богаты органическими соединениями и менее кислы.

Горные лугово-степные почвы развиваются в более сухих условиях под горными остепненными лугами. Их профиль сходен с профилем горно-луговых почв, но отличается лишь меньшей плотностью дернового горизонта и менее темной (бурой) окраской. Эти почвы содержат меньше гумуса, они менее кислы. Меньшая плотность дернины обуславливает более широкое распространение эрозии.

Горные черноземы формируются на продуктах выветривания известняков, сланцев и песчаников. Их характеризуют как типичные малогумусные и среднегумусные, а также выщелоченные среднегумусные черноземы.

Растительный мир. Растительный мир ЧР характеризуется богатством и разнообразием. Одних цветковых растений – более 2000 видов. Среди них лекарственных растений более 600 видов, медоносных 342 вида, красильных 180, овощных 20, ядовитых 160. Много видов ценных для селекции, пригодных для удобрения почв, рекультивации нарушенных земель.

В пределах республики с севера на юг выделяются следующие пояса растительного покрова.

Зона полупустыни – охватывает всю Терско-Кумскую низменность за исключением ее южной части, прилегающей к долине реки Терек. Для нее характерен сильно разряженный растительный покров, с резким преобладанием сухолюбивой и засухоустойчивой растительностью.

Зона степей – занимает левобережье Терека, Терско-Сунженскую возвышенность и северную часть Чеченской равнины. Равнинная часть степи почти целиком распахана. Обширные пространства Терско-Сунженской возвышенности занимают разнотравно-злаковые степи. Пойменные леса, в значительной степени уже вырубленные, состоят из дуба, ивы, карагача, дикой яблони и груши.

Зона лесостепи – занимает большую часть площади Чеченской и Осетинской равнины, а также западную часть Терско-Сунженской возвышенности. Степные участки равнины характеризуются густым высоким травостоем с большим разнообразием растений.

Зона горных лесов – покрывает Черные горы и нижние части северных склонов Пастбищного, Скалистого и Бокового хребтов. Их верхняя граница проходит на высоте 1800 метров над уровнем океана, но в некоторых местах она повышается до 2000-2200. Нижние части склонов покрыты лесом из разнообразных пород, основу которых составляют различные дикорастущие фруктовые деревья. С высотой состав пород изменяется. Здесь уже преобладают буковые и буково-грабовые леса с примесью карагача, липы, ясеня. Но участки чисто буковых лесов, нетронутых рукой человека, сохранились сейчас только в труднодоступных местах.

Горно-луговая зона – охватывает полосу, заключенную между высотами 1800-3800 метров и представлена тремя поясами: субальпийским, альпийским и субнивальным.

На субальпийских лугах высота травостоя достигает метра и более. Субальпийские луга постепенно переходят в альпийские луга, которые представлены низкими травами с корневой массой, образующих плотную дернину. В субнивальном поясе нет сплошного растительного покрова.

Нивальная зона – область снегов и современного обледенения.

2.1.1.5 Ландшафты Чеченской Республики

На территории ЧР получили распространение 2 класса ландшафтов: равнинные и предгорно-холмистые и горные [Братков и др., 2009]. При этом в равнинной части наряду с зональными равнинными умеренными аридными и равнинными и холмистыми теплоумеренными и умеренными семиаридными, имеются также гидроморфные и субгидроморфные типы ландшафтов. В горной части распространены следующие типы: горные умеренные гумидные, горные умеренные семигумидные, горные умеренные семиаридные, горные холодноумеренные, высокогорные луговые, высокогорные субниральные и гляциально-ниральные (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Систематика ландшафтов Чеченской Республики

Классы	Типы	Подтипы
Равнинные и предгорно-холмистые	Равнинные умеренные аридные	Пустынные и полупустынные
	Равнинные и холмистые теплоумеренные и умеренные семиаридные	Степные
	Гидроморфные и субгидроморфные	Дельтовые и пойменные
Горные	Горные умеренные, гумидные	Нижнегорно-лесные
		Среднегорно-лесные
	Горные умеренные семигумидные	Горно-котловинные кустарниково-лугово-степные

Классы	Типы	Подтипы
		Низкогорные лесо-кустарниково-лугово-степные
	Горные умеренные семиаридные	Горно-котловинные кустарниково-степные
	Горные холодноумеренные	Верхнегорные лесные и послелесные
	Высокогорные луговые	Высокогорные субальпийские кустарниково-луговые
		Высокогорные альпийские кустарниково-луговые
		Высокогорные субнивальные
	Гляциально-нивальные	Гляциально-нивальные

Пространственное размещение указанных типов и подтипов ландшафтов иллюстрируют рис. 2.8.

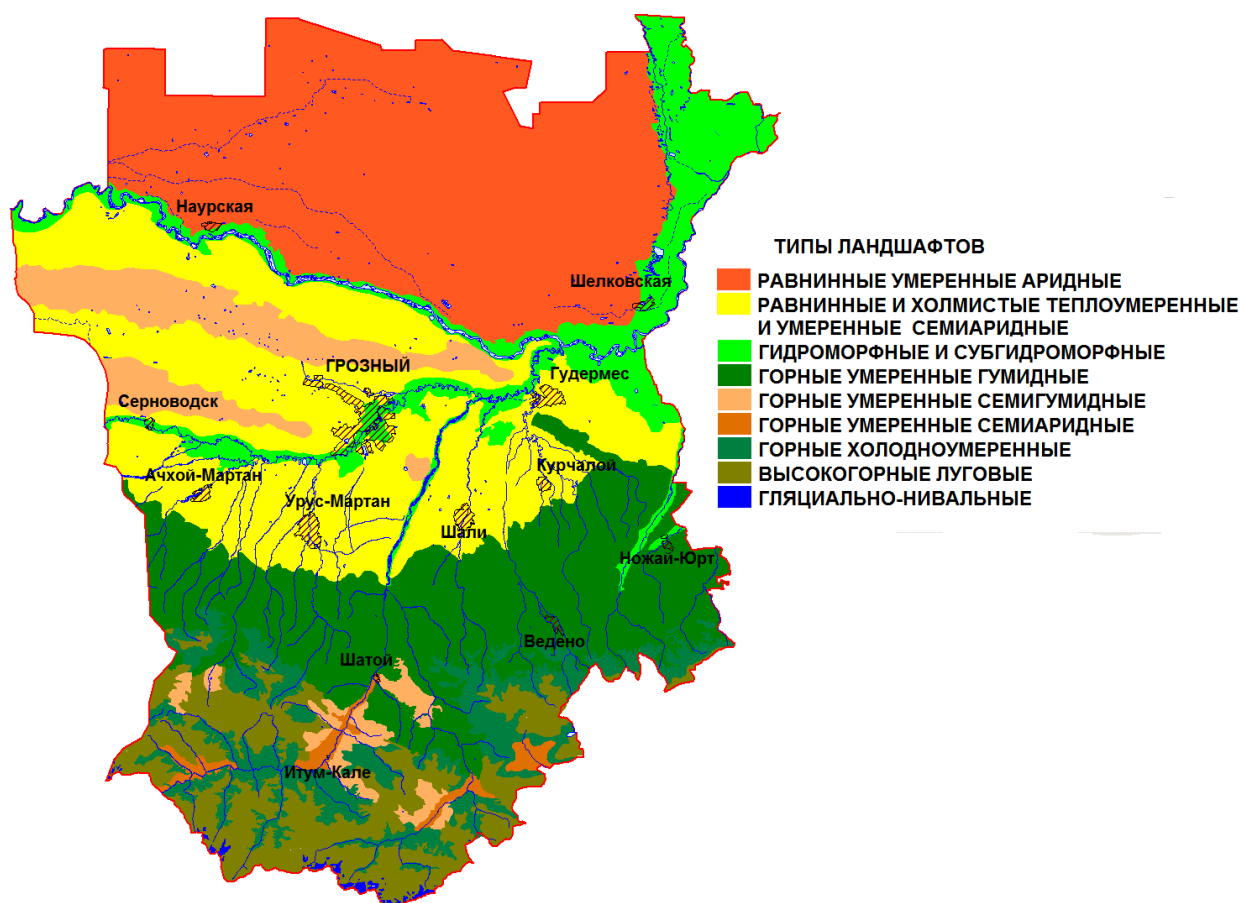


Рисунок 2.8 - Типы ландшафтов Чеченкой Республики

2.1.2 Геоэкологическая обстановка на территории Чеченской Республики

2.1.2.1 Состояние атмосферного воздуха

Оценка состояния атмосферного воздуха проводится на основе данных Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики (МПР ЧР) [Государственный доклад..., 2023].

Исследованием проб атмосферного воздуха занимается лаборатория ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Чеченской Республике».

Всего в 2023 году было отобрано 958 проб атмосферного воздуха во всех районах республики за исключением Итум-Калинского и Шаройского. Из 2865 проб 427 отобрано на автомобильных магистралях, 531 – маршрутные и подфакельные. Максимально разовых превышений ПДК ни по одному показателю не отмечено (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Сведения о мониторинге атмосферного воздуха в 2022 г.

Показатели	Всего проб	Кол-во не стандартных	Удельный вес, %
Сера диоксид	51	0	0%
Оксид углерода	126	0	0%
Диоксид азота	163	0	0%
Азота оксид	112	0	0%
Формальдегид	84	0	0%
Углеводороды ароматические	147	0	0%
Сероводород	0	0	0%
Всего	958	0	0%

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха в Чеченской Республике:

- транспорт;
- сельское хозяйство;
- предприятия жилищно-коммунального хозяйства и стройиндустрии.

Основными загрязняющими веществами атмосферного воздуха являются диоксид серы и азота, оксид углерода и азота, формальдегид и сероводород. Взвешенные вещества попадают в атмосферу в большом количестве от

предприятий стройиндустрии, из которых следует выделить АО «Чеченцемент»

Неблагоприятные метеоусловия (температурные инверсии, безветрие и др.) способствуют повышению концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

2.1.2.2 Состояние поверхностных вод

Оценка экологического состояния поверхностных вод Чеченской Республики ведется на основе данных Чеченского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС».

В 2023 году отобрано 78 проб по створам рек: Терек (26 проб), Сунжа (31 проба), Аргун (14 проб) и Белка (7 проб).

Природный химический состав поверхностных вод в 2023 году варьировался согласно данным табл. 2.3.

Таблица 2.3 - Природный химический состав поверхностных вод в 2023 году

Показатель	Максимальное значение	Минимальное значение
Запах, баллы	0	0
Прозрачность по ст. шрифту, см	30	2,5
Цветность, градусы	22	18
Температура, °C	25,6	1,0
Взвешенные вещества, мг/л	798	20
pH	8,04	6
O ₂ (кислород), мг/л	12,9	9,35
Степень насыщения кислородом, %	123	73
CO ₂ (диоксид углерода), мг/л	8,8	0
Mg ²⁺ (магний), мг/л	40,13	19,46
Cl ⁻ (хлориды), мг/л	42,18	25,17
SO ₄ ²⁻ (сульфаты), мг/л	211,33	123,92
Сумма ионов (минерализация), мг/л	695,30	488,09
Общая жесткость, мг-экв/л	6,8	5,7
HCO ⁻ (гидрокарбонаты), мг/л	268,49	178,6
Ca ²⁺ (кальций), мг/л	92,18	62,12
ХПК (окисляемость бихроматная),	35,0	13,0
БПК ₅ , мг/л	1,94	0,32

Показатель	Максимальное значение	Минимальное значение
NO ₂ ⁻ (азот нитритный), мг/л	0,009	0,00
NO ₃ ⁻ (азот нитратный), мг/л	0,188	0,045
Na ⁺ + K ⁺ (натрий+калий), мг/л	86,40	17,20

Общий объем сбрасываемых сточных и транзитных вод по бассейну р. Терек в 2022 году составил 22,29 млн. м³. По бассейну р. Аксай сбросов нет. Основной сброс сточной воды приходится на г. Грозный (12,99 млн. м³). Часть воды сброшена на рельеф местности, а также отведено нормативно-очищенных вод 15,85 млн. м³ [Государственный доклад..., 2023].

2.1.2.3 Состояние почв

По данным государственного земельного учета земельный фонд Чеченской Республики на 1 января 2023 года составляет 1617,1тыс. га. [Государственный доклад..., 2023].

Большая часть территории республики занята землями категории сельскохозяйственного назначения – 972,2 тыс.га. Земли категории населенных пунктов составляют 132,7 тыс.га, земли категории промышленности, транспорта, связи и иного назначения – 34,9 тыс.га, земли лесного фонда – 352,7 тыс.га, земли водного фонда – 9,1 тыс.га, земли запаса– 113,3 тыс.га (рис. 2.9).

Оценка санитарно-химического состояния почв приводится по данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чеченской Республике». В 2023 г. было исследовано 914 проб почвы по санитарно-химическим показателям, из них не соответствующим гигиеническим нормативам - 0; 1056 проб по микробиологическим показателям, из них не соответствующим гигиеническим нормативам - 3. На паразитологические показатели исследовано 1009 проб, из них 814 проб почва на территории детских организаций (табл. 2.4).

На территории Чеченской Республики находится 7 объектов размещения отходов в Шатойском, Наурском, Урус-Мартановском (с. Гойты и с. Алхазурово) муниципальных районах, в городах Гудермес и Грозный (МУП «Вторсырье» и ГУП «Управление ЖКУ»).

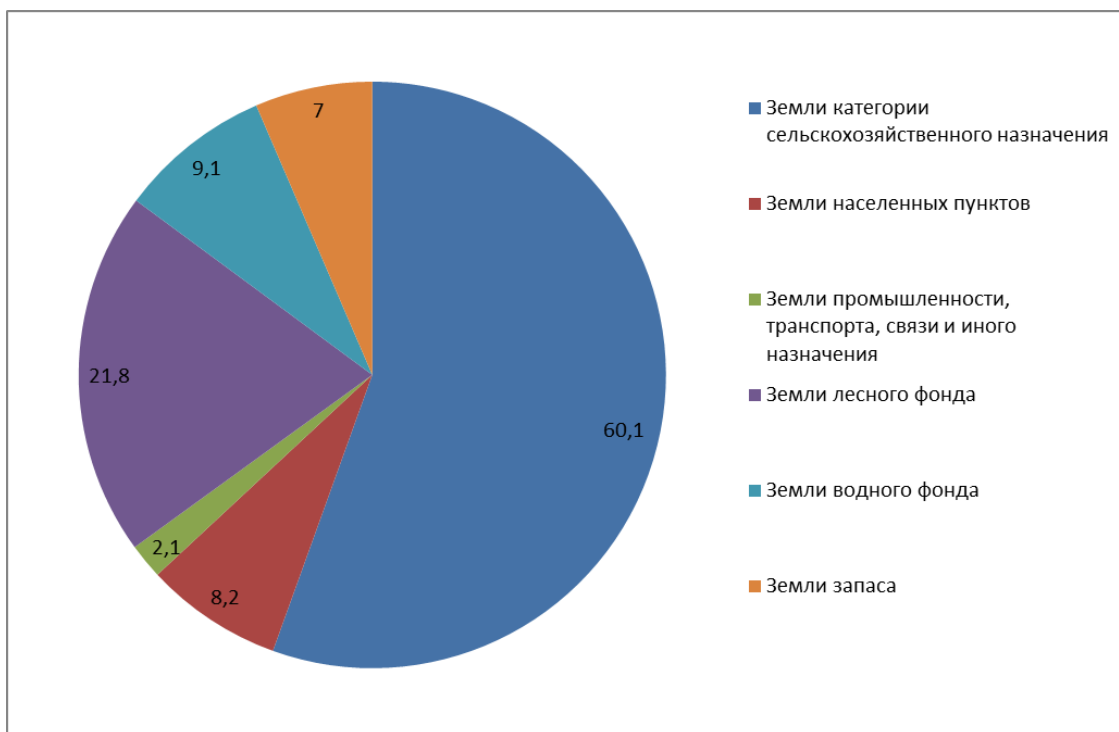


Рисунок 2.9 - Категории земель Чеченской Республики (%)

Таблица 2.4 - Доля проб почвы населенных мест, не отвечающих санитарным требованиям (%)

Показатели	2021	2022	2023
Санитарно-химические	0	4,9%	0
Микробиологические	0	4,5%	0,3%
Паразитологические	0	0,3%	0

В 2023 году в рамках проекта «Чистая страна» завершены работы по рекультивации 6 несанкционированных свалок в границах городов Чеченской Республики в г. Грозный – 4 свалки, в г. Гудермес – 1 свалка и г. Курчалой – 1 свалка:

- рекультивация несанкционированной свалки в районе пос. Ирс, Ахматовский район г. Грозный (площадь 28,2 га);
- рекультивация несанкционированной свалки в районе пос. Кирпичный, Ахматовский район г. Грозный (площадь 10,1 га);

-
- рекультивация свалки твердых коммунальных отходов (г. Курчалой, Курчалоевский район, Чеченская Республика) (площадь 4,3 га);
 - рекультивация несанкционированной свалки твердых коммунальных и строительных отходов (г.Грозный, Шейх-Мансуровский район, вблизи дачного некоммерческого товарищества «Андреевская долина») (площадь 11,5 га);
 - рекультивация несанкционированной свалки твердых коммунальных и строительных отходов (г.Грозный, Шейх-Мансуровский район, в районе пос. «Андреевская долина») (площадь 4,4 га);
 - рекультивация несанкционированной свалки твердых коммунальных и строительных отходов (г.Гудермес, в районе Кирпичного завода) (площадь 5,1 га).

2.1.2.4 Антропогенная трансформация ландшафтов Чеченской Республики

Четкие и общепризнанные критерии для определения антропогенной нарушенности природно-территориальных комплексов (ПТК) в настоящее время не разработаны или же являются дискуссионными. Однако в большинстве работ в последние годы [Демаков, 2004; Анипова, 2001] используется близкая методика оценки степени антропогенной трансформации ПТК и их экологического состояния.

На территории ЧР основными составляющими антропогенного пресса, с которыми связана наиболее сильная нарушенность ПТК, являются участки добычи нефти, полигоны твердых бытовых отходов, автомобильные и железные дороги с полосами отчуждения, земли населенных пунктов. Во всех перечисленных случаях антропогенные нагрузки приводят к трансформации литогенной основы, что вызывает смену одного ПТК другим.

Меньший ранг нарушенности имеют сельскохозяйственные угодья, которые внутри себя по мере уменьшения ранга глубины трансформации дифференцированы на возделываемые земли с осушительными мелиоративными системами, обрабатываемые пахотные земли, пастбища и сенокосы.

Рубки леса и другие лесохозяйственные мероприятия оцениваются с меньшим рангом нарушенности ПТК. Внутри себя лесохозяйственные антропогенные модификации делятся на современные вырубki с кустарниково-травянистой растительностью, зарастающие вырубki под мелколесьем из вторичных пород, взрослые леса из березы и осины со вторым ярусом из коренных пород, а также леса, в которых эдификаторами являются коренные хвойные породы. Итоговая модель общей антропогенной нарушенности ПТК представлена в табл. 2.5 и рис. 2.10.

Таблица 2.5 - Оценка степени антропогенной нарушенности ПТК

№№	Степень антропогенной измененности	Тип природопользования	Характеристика ПТК и антропогенных модификаций
1	Естественные	Лесохозяйственный неинтенсивный	Большую часть площади ландшафтных выделов занимают природные комплексы с зональной (интразональной) растительностью, восстанавливающейся к условно-коренной
2	Малоизмененные	Лесохозяйственный слабоинтенсивный	Преобладание природных комплексов с коренными породами-эдификаторами над вторичными, небольшие площади современных вырубok, отсутствие или очень небольшие площади сельскохозяйственных угодий, преимущественно заброшенных (менее 5%)
3	Среднеизмененные	Аграрно (постаграрно)-лесохозяйственный	Приблизительно одинаковые площади имеют природные комплексы с коренными породами-эдификаторами и вырубki на разной стадии зарастания, до 10% площади ландшафтных выделов занимают селитебные земли, сельскохозяйственные угодья (часто заброшенные)
4	Сильноизмененные	Селитебно-аграрно (постаграрно)-лесохозяйственный	Большую часть площади ландшафтного выдела (более 50%) занимают современные вырубki и вторичные леса на ранних стадиях сукцессий, селитебные земли, сельскохозяйственные угодья, мелиоративные системы

№№	Степень антропогенной измененности	Тип природопользования	Характеристика ПТК и антропогенных модификаций
5	Полностью освоенные	Селитебно-промышленный	Почти всю площадь ландшафтного выдела занимают природные комплексы с существенно трансформированной литогенной основой и почвенно-растительным комплексом

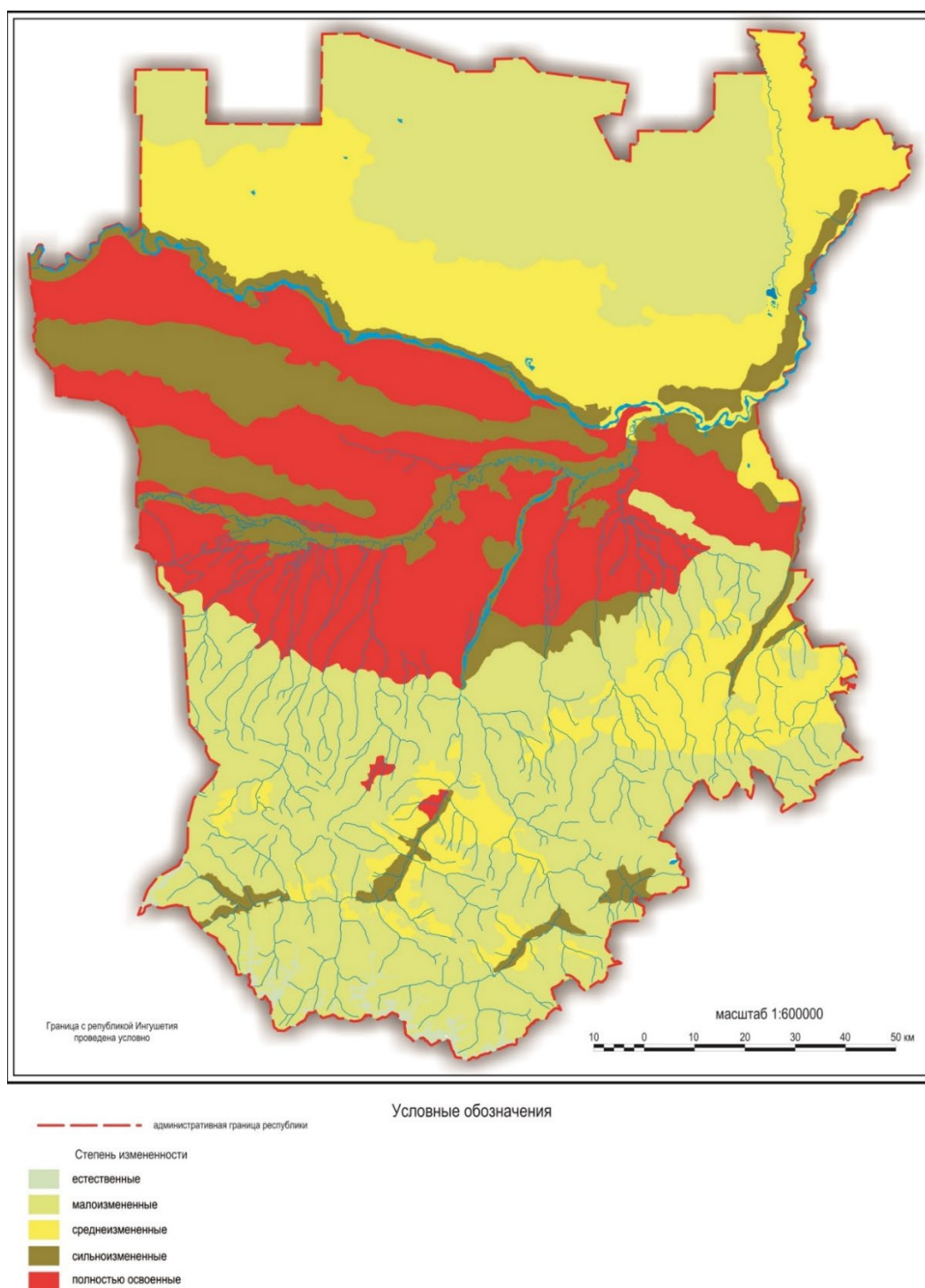


Рисунок 2.10 - Степень антропогенной трансформации ландшафтов

К малоизмененным ландшафтам относятся территории, используемые в качестве пастбищ. Выпас скота создает минимальную нагрузку на ландшафты. К таким ландшафтам на территории республики относятся равнинные умеренные аридные на севере, горные умеренные гумидные и высокогорные луговые на юге.

К среднеизменным ландшафтам относят территории, где косвенно было оказано воздействие на почвы. Это горные умеренные семигумидные и нижнегорно-лесные ландшафты, заселенные издревле, где осуществлялась рубка леса и выпас скота, что негативно отразилось на состоянии почв. А также часть равнинных умеренных аридных и дельтовых и пойменных, где осуществлялись мелиоративные мероприятия.

К сильноизмененным ландшафтам относят территории, где помимо влияния на растительность и почвы идет воздействие на литогенную основу. На этих территориях ведется строительство линейных объектов, добыча полезных ископаемых. К таким ландшафтам относят низкогорные лесо-кустарниково-луговые ландшафты, дельтовые и пойменные, гидроморфные и субгидроморфные.

К полностью освоенным ландшафтам относят равнинные семиаридные. Это наиболее удобные для проживания территории, подвергшиеся интенсивной антропогенной нагрузке. Здесь расположены города республики и другие крупные поселения. На этих территориях ведется активное строительство и добыча полезных ископаемых, что затрагивает литогенную основу.

2.1.2.5 Экологическая характеристика производства

Развитие промышленности Чеченской Республики можно разделить на следующие этапы [Региональные аспекты..., 2009]:

—конец XIX – середина XX вв.- зарождение промышленности после открытия крупных месторождений нефти. В этот период происходит скопление конденсата, который закачивался обратно в недра после отделения керосиновой фракции нефти. В середине XX в. структура промышленности ЧР носила

многоотраслевой характер и была представлена многими производствами топливно-энергетического, химического, машиностроительного комплексов, промышленности строительных материалов, легкой и пищевой промышленности.

—1950-1990 гг. — на этот период приходится пик развития промышленности. Основной отраслью специализации промышленного производства ЧР была добыча и переработка углеводородов. По мере развития нефтяной промышленности многократно увеличились производственные стоки предприятий, а потери углеводородного сырья и газообразных продуктов составляли десятки тысяч тонн ежегодно. Грозный в этот период относился к числу одних из самых загрязненных городов СССР.

—1990-2000 гг. характеризовался в экономике ЧР такими негативными явлениями, как падение промышленного и сельскохозяйственного производства, разрыв хозяйственных связей со многими регионами страны, резкое падение жизненного уровня населения (более 80% предприятий было остановлено, и свыше 60% граждан попали в число безработных). События 90-х годов привели к почти полному уничтожению промышленного потенциала республики. Все это негативно отразилось и на экологическом состоянии окружающей среды. В этот период отмечались многочисленные разливы нефти и нефтепродуктов как на почву, так и в поверхностные воды, в результате пожаров на промышленных предприятиях происходило загрязнение атмосферного воздуха.

Мы, в свою очередь, можем выделить еще один период - 2001 по н/в, который можно разделить на два подпериода:

2001-2010 — период восстановления промышленного производства и устранение экологических последствий после военных действий.

2011-по н.в. — рост промышленного производства. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является транспорт, сельское хозяйство, предприятия жилищно-коммунального хозяйства и стройиндустрии. Объектами негативного воздействия на окружающую среду, которым присвоена I категория, являются:

-
- цеха добычи нефти и газа – ЦДНГ-1, ЦДНГ-3, ЦДНГ-4 АО «Грознефтегаз»;
 - МУП «Биологические очистные сооружения» г. Грозный;
 - полигон твердых бытовых отходов (восстановление) г. Гудермес.

2.2 Урбанистика и управление территориальным развитием

Начиная с XXI века загрязнение окружающей среды, такое как загрязнение воздуха, разрушение озонового слоя и глобальное потепление, представляет собой значительную угрозу существованию человечества. Человеческая деятельность, связанная с потреблением энергии в строительстве, приводит к увеличению выбросов парниковых газов, особенно CO₂, что является одной из основных причин глобального потепления [Li Y., 2019]. Строительная индустрия способствовала быстрой урбанизации в Китае, внося значительный вклад в выбросы CO₂. Однако лишь немногие исследования изучали влияние урбанизации на выбросы CO₂ в строительной отрасли и региональную неоднородность, или рассматривали связанные со строительством факторы масштаба городского строительства как отражение урбанизации. Учитывая, что строительная отрасль является основным источником выбросов CO₂ в период урбанизации, влияние урбанизации на выбросы CO₂ строительной отраслью требует дальнейшего изучения для снижения выбросов и разработки целевой политики, учитывающей быструю урбанизацию. В данном исследовании использовались панельные данные из 25 провинций Китая за период 2008-2017 годов для эмпирической оценки влияния урбанизации на окружающую среду, включая выбросы от строительной отрасли. Для анализа использовалась модель STIRPAT, которая была адаптирована для оценки воздействия урбанизации в трех регионах: урбанизированном, формирующемся и недостаточно урбанизированном на исследуемой территории. Уровень урбанизации был всесторонне измерен с учетом численности населения, экономического развития, плотности населения и других факторов, влияющих на

урбанизационные процессы. [Zhang, S., Li, 2021].

В статье [Милашевская А.Н., 2022.] автор проводит сравнение теоретических работ России и Франции в сфере пространственного планирования исходя из различий в государственной политике, плотности и равномерности расселения, позиции стран на мировой арене. В работах французских исследователей рассматриваются различные формы систем расселения и их элементов в разных странах и вопросы их взаимодействия. На основе сравнительного анализа работ сделаны выводы о возможности применения теоретического и практического опыта пространственного планирования Франции в отечественной практике. Некоторые принципы развития системы расселения, которые выделяют в работах французских авторов:

- разграничение по типам отношений систем, морфогенеза систем городов по историческому контексту;
- организация региональной перестройки, внедрение государственных и частных инвестиций;
- урбанизация территорий на основе крупных городских кластеров регионального масштаба, объединяющих крупные города с малыми;
- разностороннее поддержание существующих малых городов и поселений;
- освоение и реабилитация территорий со сложными природно-климатическими условиями и антропогенными нарушениями.

В научной работе [V. Y. Spiridonov, S. G. Shabiev, 2020] рассматриваются вопросы совершенствования методологических основ градостроительства с учетом требований “умного” планирования и управления устойчивым развитием территорий. Даны определения понятиям “интеллектуальное городское планирование”, “информационная платформа городского планирования”, “цифровой двойник” территории и “киберфизическая система городского развития”. Дан краткий обзор мирового опыта внедрения “умных” технологий в городское развитие. В статье излагаются долгосрочные проблемы, связанные с

теоретическими и практическими разработками в данной области. Наконец, авторы предлагают концепцию “умного городского планирования”, направленную на обеспечение комфортных и безопасных условий проживания. В нем изложены фундаментальные принципы целеполагания, планирования и внедрения устойчивого территориального развития с использованием информационно-коммуникационных технологий; теоретическая модель информационной платформы городского планирования, основанная на методах автоматизации, условиях адаптации, а также описывающая уровни “цифрового двойника” объекта городского развития.

Краткий обзор внедрения комплексной оценки территории для стратегического планирования и управления развитием территории представлен в работе [Sheina, W. Dietmar, 2015]. Критерии оценки были определены для условий развития Ростовской области. Степень выраженности отдельных факторов оцениваемого участка напрямую влияет на выбор типа его функционального использования. Основные результаты были рассмотрены после создания информационной системы “Управление развитием территорий” для Ростовской области. Предлагается использовать комплексную многокритериальную оценку территории для реализации задач городского планирования, проектирования и управления развитием территории, включая эффективное размещение промышленных зон.

В статье [I. D. Menzori, 2021] исследуется взаимосвязь между разрастанием городов и политикой местного планирования в Бразилии. Авторы подчеркивают, что, несмотря на планы землепользования, направленные на ограничение урбанизации, местные власти часто не могут эффективно их реализовать. Это приводит к расширению городов и негативным экологическим последствиям. Особое внимание уделяется анализу реализации генеральных планов при разных политических администрациях. Исследование показывает, что различия в политических подходах могут значительно влиять на пространственные результаты роста городов. Например, в городах, управляемых партиями, выступающими за устойчивый рост, наблюдается более рациональное

использование земельных ресурсов и сохранение природных территорий. В то же время, в городах, где преобладают партии, ориентированные на экономический рост, наблюдается более хаотичное и неконтролируемое расширение.

Таким образом, работа подчеркивает важность комплексного подхода к управлению городским развитием, который должен учитывать, как экономические, так и экологические аспекты. Цель состоит в том, чтобы выявить различия в пространственных результатах роста городов в зависимости от территориального управления и количественно оценить, соответствовал ли наблюдаемый рост стратегиям зонирования или включал в себя несоответствующее развитие. Можно утверждать, что управленческий потенциал влияет на пространственное распределение городского роста и, следовательно, на регулирование разрастания городов. Результаты показывают разрозненные модели городского роста, соответствующие разным административным единицам, даже при реализации одного и того же плана. Это позволяет предположить, что пространственные результаты могли быть сформированы либо применением, либо неприменением градостроительных норм, характеризующих противоположные подходы к территориальному управлению. Таким образом, исследование подчеркивает необходимость более эффективного управления городским развитием, что требует комплексного подхода и учета различных политических факторов. Комплексное планирование и внедрение устойчивых практик могут помочь снизить негативные последствия разрастания городов и создать более устойчивую городскую среду.

2.3 Эффективные стратегии в управлении отходами

В современном мире вопрос управления отходами становится всё более острым. Рост населения, увеличение объёмов производства и потребления ведут к образованию большого количества отходов, которые могут нанести серьёзный вред окружающей среде и здоровью человека. Поэтому разработка и внедрение эффективных стратегий в управлении отходами – важная задача для каждого

государства и общества [Мамаджанов Р. Х., Латушкина Е. Н., Батаев Д. К.-С. и др., 2015].

Эффективные стратегии в управлении отходами – это комплексный подход, включающий в себя как совершенствование законодательства, так и внедрение новых технологий [Мамаджанов Р. Х., Латушкина Е. Н., Батаев Д. К. -С. и др., 2015].

Примеры возможных стратегий:

1. Политика «нулевого отхода». Стремление к минимизации отходов на всех этапах производства и потребления. Это включает в себя проектирование продуктов и процессов таким образом, чтобы минимизировать образование отходов.

2. Расширенная ответственность производителя (РОП). Производители должны нести ответственность за весь жизненный цикл продукта, включая утилизацию после окончания его использования. Это стимулирует компании создавать более долговечные и лёгкие в переработке товары.

3. Комплексное использование ресурсов. Эффективное использование ресурсов и вторсырья, включая возврат отходов в производственный цикл в форме вторичного сырья.

4. Технологические инновации:

- Термическая обработка отходов. Использование методов, таких как сжигание и пиролиз, для преобразования отходов в энергию. Это позволяет не только утилизировать отходы, но и получать из них тепло и электричество.

- Биологическая переработка. Компостирование и метанизация органических отходов, которые могут быть использованы как удобрения или для производства биогаза.

5. Стандартизация норм утилизации. Введение единых стандартов для утилизации различных типов отходов может упростить их переработку и сделать более эффективной.

6. Инcentивы для предприятий. Предоставление налоговых льгот и субсидий компаниям, активно внедряющим технологии переработки отходов и

использующим вторсырьё.

7. Ужесточение экологических норм. Повышение штрафов за загрязнение окружающей среды отходами и ужесточение контроля за соблюдением экологических стандартов.

Эффективные стратегии в управлении ТКО Чеченской Республики» (рекомендуемые шаги):

1. Анализ состояния в сфере санитарной очистки территорий республики. Существующая система обезвреживания ТКО основана на захоронении всех образующихся отходов на полигонах и свалках, которые не вполне отвечают требованиям санитарных норм и правил.

2. Разработка республиканской программы «Комплексное управление твёрдыми бытовыми отходами и вторичными материальными ресурсами в Чеченской Республике» на 2024-2027 годы и на перспективу до 2030 года. В программе будет рассмотрено поэтапное создание комплексной системы управления ТКО и вторичными материальными ресурсами.

3. Описание региональных проектов по эффективному обращению с отходами производства и потребления. Например, ввод в промышленную эксплуатацию 8 мусоросортировочных комплексов и республиканского экологического отходоперерабатывающего комплекса «ЭКОТЕХНОПАРК».

4. Разработка долгосрочных стратегий перехода от полигонного захоронения ТКО к их промышленной переработке на основе применения современных технологий.

5. Анализ возможных рисков и проблем в сфере управления ТКО.

6. Предложения по совершенствованию системы обращения с ТКО в Чеченской Республике. Например, разработка дифференцированного подхода к определению нормативов накопления ТКО при осуществлении их отдельного накопления гражданами, а также вида населённого пункта и вида жилого помещения, природных и климатических особенностей территорий.

Строительная отрасль является одним из самых крупных производителей отходов в мире. Эти отходы, если не управлять ими должным образом, могут

оказывать разрушительное воздействие на экосистему. В связи с этим вопросы управления строительными отходами становятся крайне важными для достижения устойчивого развития в строительной отрасли.

Отходы строительства классифицируются в зависимости от их происхождения и состава:

1. Отходы строительства: Остатки строительных материалов, такие как бетон, кирпичи, металл, древесина и стекло, оставшиеся после выполнения строительных работ.

2. Отходы сноса: Материалы, образующиеся при разборке зданий, например, кирпичи, бетонные блоки, металлоконструкции.

3. Отходы при демонтаже и ремонте: включают в себя остатки от сноса или замены элементов зданий, такие как старые покрытия, трубы и элементы отделки.

Эти отходы имеют разные экологические и технические проблемы, но все они могут быть переработаны или повторно использованы с применением современных технологий.

Стратегии управления строительными отходами.

1. Снижение объема отходов на стадии проектирования. Одним из самых эффективных способов управления отходами является минимизация их объема еще на этапе проектирования. Это включает в себя выбор материалов с меньшим количеством отходов, использование модульных конструкций, а также оптимизацию архитектурных решений для уменьшения отходов.

2. Переработка отходов. Переработка строительных отходов является важной стратегией устойчивого управления. Материалы, такие как бетон, металл, стекло и дерево, могут быть переработаны и использованы повторно в строительных работах. Например, переработанный бетон может быть использован для создания новых бетонных конструкций, а переработанная древесина может быть использована для производства мебели или отделки.

3. Повторное использование материалов. Кроме переработки, важным аспектом является повторное использование материалов, которые могут быть

извлечены из старых зданий или строительных объектов. Это может включать использование старых кирпичей, деревянных конструкций, оконных рам и других элементов, которые могут быть повторно использованы при строительстве новых объектов.

4. Использование экологичных и перерабатываемых материалов. При проектировании и строительстве можно использовать экологически чистые материалы, которые не только меньше загрязняют окружающую среду, но и легко поддаются переработке. Например, использование строительных материалов с низким углеродным следом, таких как переработанный металл, стекло и бетон, способствует снижению общего объема отходов.

5. Технологии и инновации. Современные технологии, такие как 3D-печать и модульное строительство, позволяют значительно снизить количество строительных отходов. Эти технологии позволяют точнее планировать расход материалов и эффективно использовать ресурсы [Сейидов А., Ходжанова М., Ходжаязова А., 2024].

Также остро стоит проблема утилизации техногенных отходов. Техногенными являются отходы промышленного производства, к которым относятся твердые, жидкие и газообразные отходы, образующиеся на предприятиях в процессе получения конечного продукта из сырья. Таким образом, одним из эффективных путей решения проблемы накопления техногенных отходов в больших количествах является вторичное их использование в качестве наполнителей, либо модифицирующих добавок в производстве строительных материалов и изделий. Таким образом можно утилизировать зольные, шлаковые, древесные, шламовые, стекольные, также отходы химической промышленности и горнопромышленного производства [Шишакина О.А., Паламарчук А.А., 2019].

Резюмируя, необходимо отметить, что эффективные стратегии управления отходами необходимы для разрешения вопросов загрязнения и сохранения окружающей среды. Только в этом случае мы сможем достичь значимых результатов.

2.4 Вклад урбанизированных территорий на эмиссию парниковых газов

Начиная с 1960-х годов, ученые регистрируют быстрый рост концентрации углекислого газа в атмосфере. На рис. 2.11 видно в 2015 году он составлял 400 ppm, а в мае 2019 года метеорологические датчики на Гавайях зафиксировали уровень 415, 26 ppm, что стало рекордом за всю историю человечества [Science alert, 2019].

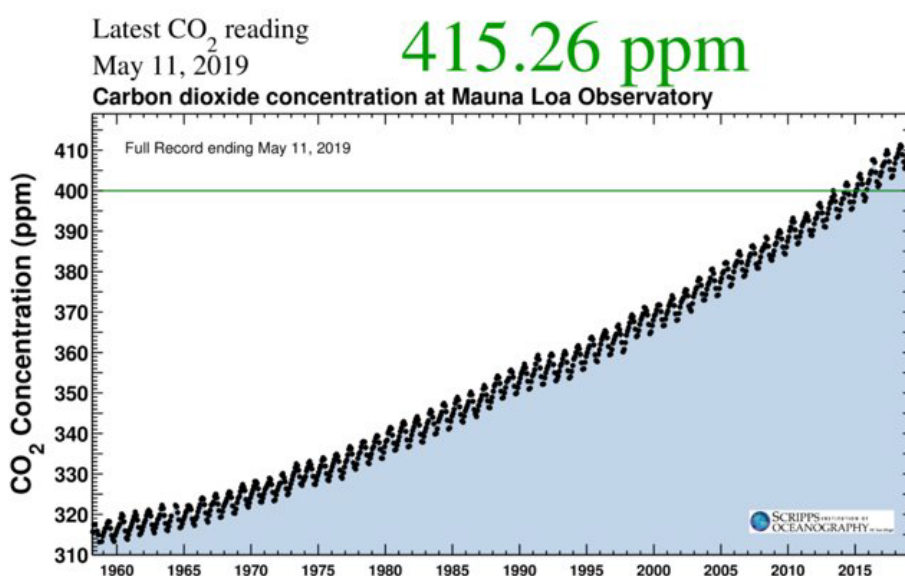


Рисунок 2.11 - Тенденции выбросов углекислого газа [Science alert, 2019].

Если нынешние тенденции выбросов углекислого газа сохранятся, глобальная температура продолжит повышаться, что приведет к более серьезным социальным и экологическим последствиям для всей планеты. Поэтому сокращение выбросов углекислого газа является обязательным, что требует совместных усилий всех стран мира. На Конференции Организации Объединенных Наций по изменению климата в 2015 году почти 200 государств-участников обязались удерживать глобальное потепление на уровне значительно ниже 2 °C и «продолжать усилия» по ограничению его 1,5 °C [S. Liu, X. Tian, Y. Xiong, 2017].

В настоящее время 137 стран предложили цель достижения углеродной нейтральности к 2050 году, что составляет 73% мировых выбросов углерода [X.

Shi, Y. Zheng, Y. Lei, 2021].

Выбросы CO₂ и вызванное ими изменение климата уже долгое время находятся в центре внимания всего мира. Китай из-за своей ускоренной урбанизации играет значительную роль в глобальных выбросах парниковых газов, на его долю приходится около 25 % мировых выбросов CO₂ также предлагает достичь углеродной нейтральности к 2060 году [S. Liu, X. Tian, Y. Xiong, 2020].

Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа впервые изучалось в 1990-х годах, и такие исследования показали, что существуют расхождения в выбросах углекислого газа в городских и сельских районах [Neil M. T., 1997].

Урбанизация, быстрая концентрация населения и развитие городских территорий, оказывает глубокое воздействие на окружающую среду в различных аспектах: от качества воздуха и воды до биоразнообразия и климата.

Городские районы являются значительными источниками загрязнителей воздуха, таких как твердые частицы, оксиды азота, диоксид серы и летучие органические соединения. Эти загрязнители возникают в результате выбросов транспортных средств, промышленной деятельности и производства энергии. Высокие концентрации загрязняющих веществ в городских районах ухудшают качество воздуха, что приводит к респираторным заболеваниям, сердечно-сосудистым заболеваниям и другим проблемам со здоровьем у людей. Кроме того, загрязнение воздуха могут нанести вред растительности, ухудшить качество строительных материалов и способствовать изменению климата.

Города всё больше и больше концентрируют все виды загрязнения окружающей среды, оказывая прямое и косвенное влияние на значительные территории. Развитие урбанизации привело к формированию зон активного взаимодействия территориальных сообществ людей с окружающей средой. Результатом этого является загрязнение и деструктуризация компонентов природной среды, прежде всего за счет производственной и коммунально-бытовой деятельности населения и ухудшения природных условий жизни людей. Рост концентрации людей, промышленных предприятий и автомобилей

сопровождается значительными изменениями природных ландшафтов и условий в городах и пригородах, возникновением в них специфических природных явлений, ухудшением экологических качеств городской среды. В городах резко обостряются экологические проблемы. Причем степень сложности этих проблем находится в прямой зависимости с величиной города. Чем город крупнее, тем сильнее изменены природные условия, тем труднее решать экологические задачи. По сравнению с сельской местностью, большинство городов мира имеет худшие экологические условия для жизни человека. Это обусловлено тем, что все компоненты природы в городах изменены деятельностью людей [Сердюкова А., 2018].

Загрязнение воздушного бассейна города, которое вызвано вследствие использования энергоресурсов транспортом, промышленностью и гражданскими объектами, является одним из основных негативных факторов. В связи с активным развитием городской структуры повышается энергопотребление транспортом, промышленностью и объектами гражданского назначения. Современный город в процессе развития и увеличения плотности застройки способствует приросту количества автомобилей, потребляющих энергоресурсы. В связи с активной эксплуатацией автомобиля увеличиваются выбросы вредных веществ и их концентрация в городской среде [Гиясов Б., 2022].

Города являются ключевым фактором изменения климата, поскольку городская деятельность является основным источником выбросов парниковых газов. Оценки показывают, что на городские районы приходится 70 процентов глобальных выбросов CO₂ несмотря на то, что городские районы занимают всего 0,4–0,9% поверхности суши в мире [МГЭИК, 2022].

В Северной Америке доля выбросов достигает 80% в зависимости от определения объема выбросов и городских границ. Кроме того, в этом столетии население городов может увеличиться более чем на 2 миллиарда человек, а к 2030 году глобальная городская площадь увеличится втрое [Luqman M., 2023].

По сообщениям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 99%

населения мира дышит воздухом, превышающим безопасные пределы, причем в городских районах этот показатель значительно выше. В 2020 г., загрязнение воздуха вызвало 4.2 млн преждевременную смертность во всем мире, значительная часть происходит в городских районах [ВОЗ, 2021].

Существуют совершенно разные выводы относительно влияния урбанизации на выбросы углерода. Влияние урбанизации на выбросы углерода зависит от уровня экономического развития страны. Результаты различаются, когда интервалы выборки различны, то есть объекты исследования находятся на разных стадиях экономического развития [Martínez-Zarzoso & Maruotti, 2011].

На рис. 2.12 показаны тенденции выбросов для 91 города, участвовавшего в анализе проведенным учеными из Австралии. В целом, наблюдается быстрый рост городских выбросов CO₂ в среднем на 4,7% в год. Эти средние значения скрывают значительную вариабельность между городами с тенденциями выбросов в диапазоне от -2,8% в год (Мадрид, Испания) до 11,0% в год (Сиань, Китай). В среднем основной причиной роста выбросов CO₂ являются изменения в городской местности (3,5% в год). Изменение плотности населения составляет -0,6% в год, что указывает на то, что города продолжают разрастаться по мере своего роста. Динамика выбросов CO₂ на душу населения вносит положительный вклад (в среднем 2,2% в год) [Luqman M., 2023].

В статье ученых из Китая, в котором они изучили механизм воздействия урбанизации на загрязнение воздуха, используя данные 277 городов за период с 2010 по 2019 год, пришли к тому, что население и дорожное движение являются двумя основными факторами, влияющими на качество воздуха в процессе урбанизации. Увеличение плотности населения ухудшает качество воздуха, и каждое увеличение плотности населения на 1% приводит к снижению качества воздуха на 0,019%. Улучшение транспортного сообщения может существенно повлиять на качество воздуха [Zhang Li, 2022].

В исследовании Ван Вэйчжэн и др. изучено влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) (рис. 2.13).

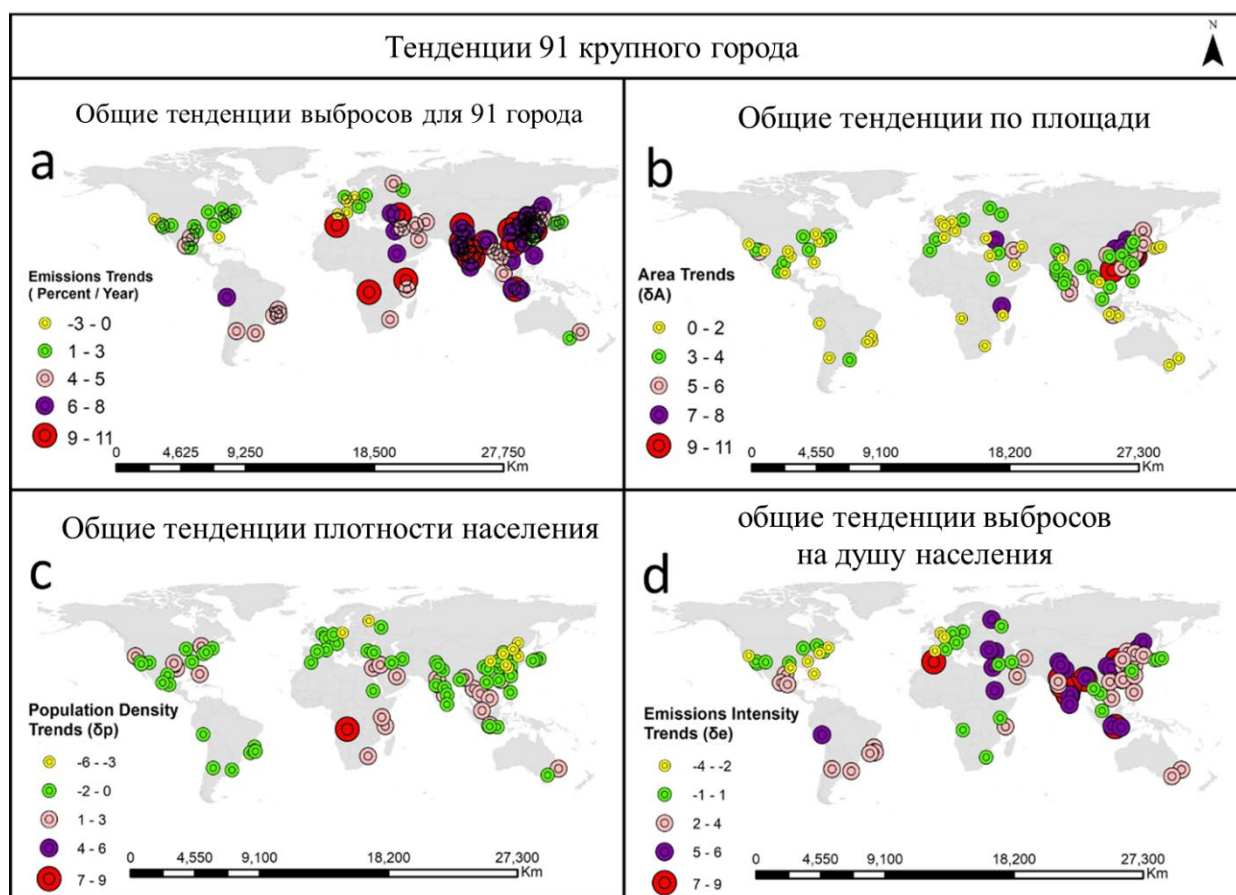


Рисунок 2.12 - Тенденции 91 крупного города [Luqman M., 2023]

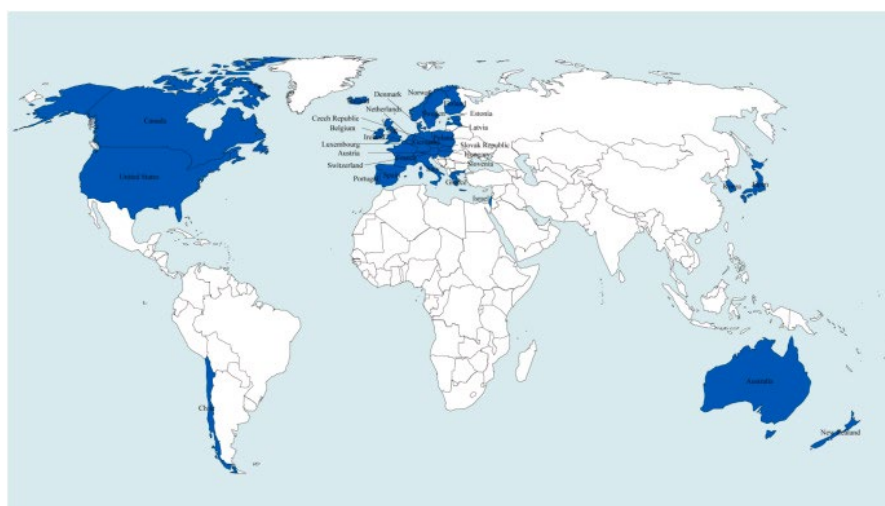


Рисунок 2.13 - Тридцать три страны ОЭСР с высоким уровнем дохода, включенные в эмпирическое исследование [Wei-Zheng Wang, 2021].

Если рассматривать страны ОЭСР с высоким уровнем дохода в целом, “эффект агломерации”, вызванный урбанизацией, немного превышает ее “эффект потребления”, что дополнительно создает негативное, но слабое

воздействие на выбросы углекислого газа. При увеличении темпов урбанизации на каждый процентный пункт выбросы CO₂ на душу населения снижаются на 0,015%, общие выбросы CO₂ уменьшаются на 0,012%, а интенсивность выбросов CO₂ снижается на 0,009%. С увеличением порядка запаздывания влияние урбанизации на выбросы углекислого газа на душу населения и интенсивность сохраняют стабильные негативные последствия. Среди них 21 страны испытывают негативное влияние урбанизации на выбросы углекислого газа на душу населения, общий объем и интенсивность [Wei-Zheng Wang, 2021].

В своей работе Фейфэй Тан, Шаша Янг и Чжюань Ниу исследовали четыре экономических фактора влияющих на выбросы углерода на урбанизированных территориях: повышение уровня потребления жителями, технологический прогресс, корректировка структуры промышленности и корректировка структуры энергетики. Исследование проводили основываясь на данных по 30 провинциям Китая за период с 2003 по 2015 год и пришли к тому, что:

- урбанизация способствовала выбросам углекислого газа в течение всего периода выборки;
- урбанизация способствует увеличению выбросов углекислого газа за счет повышения уровня потребления городских жителей;
- урбанизация подавляет выбросы углерода за счет технологического прогресса;
- урбанизация способствует выбросам углекислого газа за счет увеличения доли добавленной стоимости в промышленности;
- урбанизация увеличивает выбросы углекислого газа, влияя на структуру энергетики;

Результаты показывают, что урбанизация может снизить выбросы углерода на душу населения за счет улучшения энергетической структуры и технологического уровня, в то время как улучшение уровня потребления в жилых помещениях и корректировка структуры промышленности могут привести к увеличению выбросов углерода на душу населения [Tan F., 2023].

Ученые из Пакистана и США изучали взаимосвязь между выбросами CO₂,

экономическим ростом (ВВП), урбанизацией (% от общей численности населения) и открытостью торговли для группы из девяти стран Дальневосточной Азии с 1980 по 2017 год. Их оценки показывают, что ВВП, урбанизация и открытость торговли в значительной степени коррелировали с выбросами CO₂ в группе стран Дальневосточной Азии. Исследование показывает, что урбанизация, экономический рост и открытость торговли в значительной степени определяют выбросы CO₂ в выбранных странах. Этот быстрый путь к увеличению ВВП, урбанизации и торговли привел к ухудшению состояния окружающей среды, что вызвало серьезные проблемы со здоровьем в этих странах [Anwar A., 2020].

Южноазиатский регион подвержен влиянию изменения климата по-разному, поскольку здесь расположено множество экологических зон. Выбросы CO₂ в регионе продолжают расти, причем наиболее значительный вклад вносят Индия и Пакистан [Nuwan Gunarathne A. D., 2020]

Урбанизация становится важным игроком в глобальном углеродном цикле. Влияние городов на углеродный цикл выходит за пределы самих городов и их вклада в выбросы от сжигания ископаемого топлива и изменения землепользования. Этому и посвящена работа Чуркиной Г. На момент исследования, 2016 год, городские жители контролировали ~ 22% общего поглощения углерода землей и ~ 24% выбросов в глобальном масштабе. Урбанизация создала два новых резервуара углерода, таких как здания и свалки, которые составляют ~ 1,6% от общего объема растительности и почв в мире. Создание этих новых углеродных резервуара является результатом поглощения углерода в удаленных экосистемах и его переноса в городские районы (рис. 2.14). Создание и поддержание этих резервуара было связано с высокими выбросами CO₂ при сжигании ископаемого топлива [Churkina G., 2016].

Африка - один из регионов мира с самой быстрой урбанизацией [Sulemana et al., 2019]. По оценкам, к 2035 году в африканских городах будет проживать 810 миллионов человек [Saghir J., 2018]. Предполагается, что в технологически отсталом регионе, в таком как Африка, выбросы углекислого газа будут

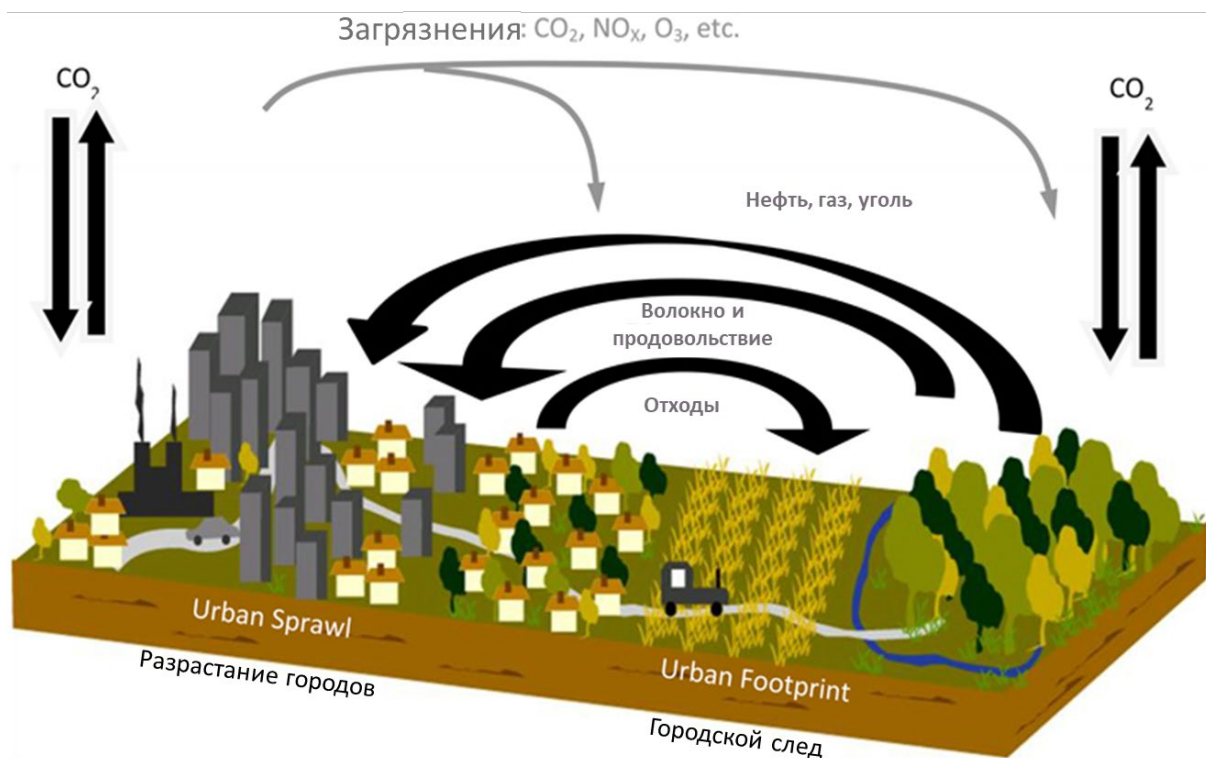


Рисунок 2.14 - Городской углеродный цикл [Churkina G., 2016]

Черными стрелками показаны вертикальные и горизонтальные потоки углерода. Серого цвета показывают косвенное воздействие городского загрязнения на поглощение и высвобождение углерода экосистемами внутри городской застройки и на городской след.

увеличиваться по мере развития урбанизации. Хотя выбросы углекислого газа Африки в настоящее время составляют лишь 3% мировых выбросов, из-за плохих географических и экономических условий этот регион понес больше потерь, чем другие континенты, в условиях серьезной ситуации глобального изменения климата [S. Nangombe, 2018]. Если не будут приняты эффективные меры, африканские страны, особенно в Восточной Африке, вероятно, потратят более 10 процентов своего валового внутреннего продукта на борьбу с повышением уровня моря, вызванным глобальным потеплением.

Роль транспорта и урбанизации в увеличении выбросов углекислого газа нельзя недооценивать. В исследовании Сэмюэла А. уделяется внимание связи между потреблением энергии на транспорте, урбанизацией и выбросами

углерода в 19 странах ЮВА за 31 год (1980-2011).

Можно заметить, что, хотя прогнозируемое значение потребления электроэнергии в разных странах сильно различается, мы находим относительно близкое значение влияния урбанизации на выбросы углекислого газа (рис. 2.15). Более конкретно, прогнозируемое значение потребления электроэнергии для выбросов выше для Южной Африки, в то время как эффект заметно ниже для Эфиопии. Напротив, в Южной Африке и Эритрее урбанизация оказывает наименьшее влияние на загрязнение окружающей среды, а в Анголе - наибольшее влияние на выбросы [Adams S., 2020].

Оценка влияния урбанизации на качество воздуха в европейских мегаполисах выявляет сложную и многогранную взаимосвязь, имеющую значительные последствия для общественного здравоохранения, экологической устойчивости и политики городского развития.

Эмпирические исследования, проводимые с использованием различных методологий, неизменно демонстрируют прямую корреляцию между усилением урбанизации и повышением уровня загрязнения воздуха, особенно в густонаселенных городских центрах [Lewis D., 2024].

В своей работе, ученые из Уральского федерального университета, оценили влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России. [Мариев О.С., Давидсон Н.Б., Емельянова О.С., 2015]. Проводили исследование для 77 регионов с применением модели квантильной регрессии, в которой зависимой переменной являются выбросы CO₂ на душу населения. В качестве контрольных переменных рассматривались потребление электроэнергии на душу населения, расходы на технологические инновации на душу населения и поступление прямых иностранных инвестиций на душу населения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что урбанизация способствует снижению выбросов CO₂ в регионах России 10-го и 50-го квантилей, тогда как в регионах 25-го, 75-го и 90-го квантилей более высокая урбанизация ведет к увеличению выбросов CO₂. Кроме того, с увеличением валового регионального продукта на душу населения выбросы CO₂

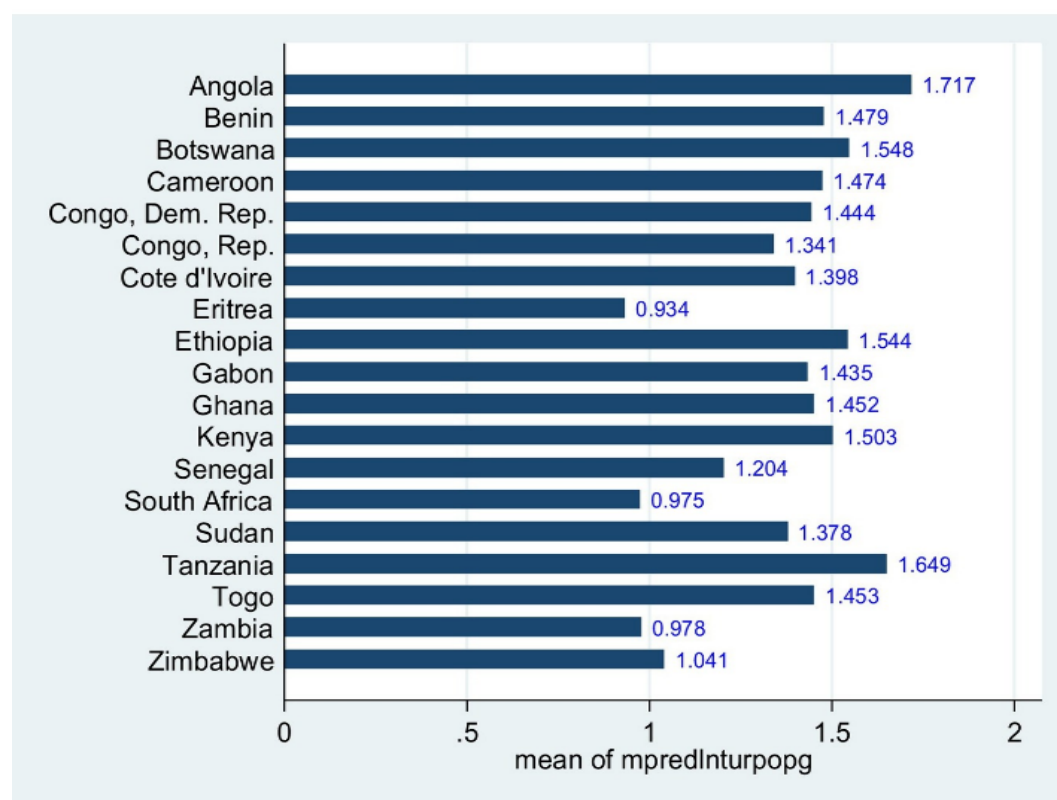
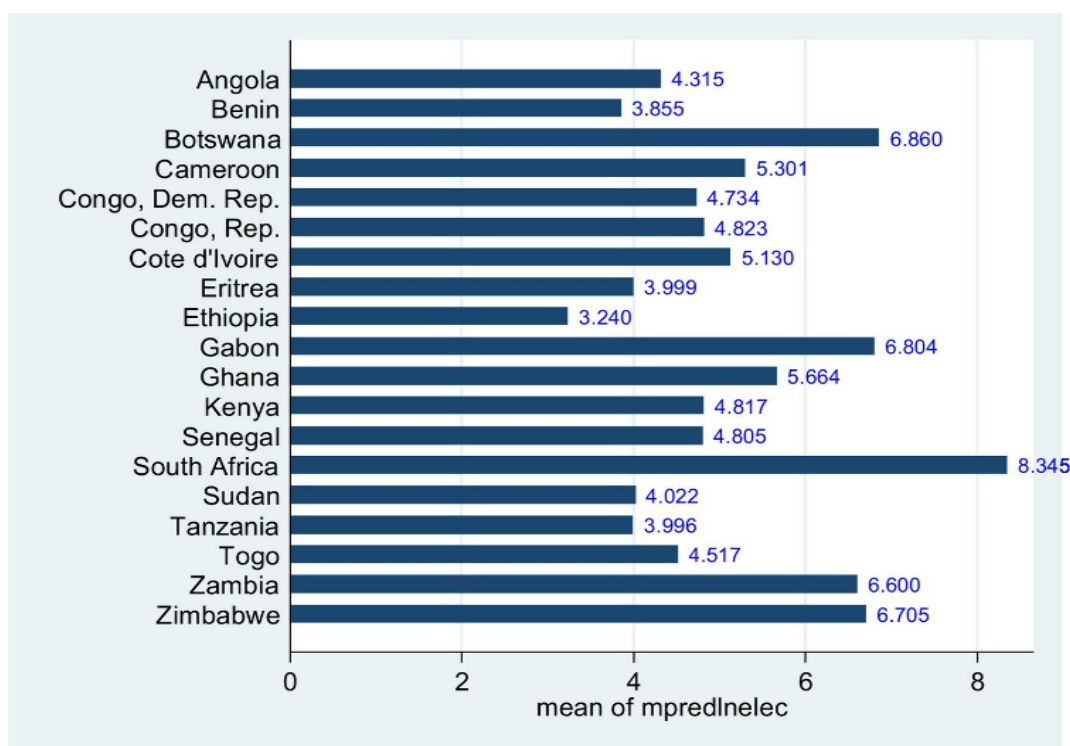


Рисунок 2.15 - Прогнозируемое влияние потребления электроэнергии и роста городского населения на выбросы CO₂ по странам [Adams S., 2020].

увеличиваются до определенной точки, а при дальнейшем росте валового регионального продукта на душу населения они уменьшаются. Как и ожидалось,

увеличение потребления энергии приводит к увеличению выбросов CO₂. Было выявлено, что поступление прямых иностранных инвестиций приводит к снижению выбросов CO₂ для 50-го и 90-го квантилей; для других квантилей переменная «прямые иностранные инвестиции» оказалась незначимой. С увеличением региональных расходов на технологические инновации выбросы CO₂ снижаются.

2.5 Эколого-материаловедческие проблемы использования техногенных отходов в посткризисных районах

В период с 1994 по 2002 гг. из-за военных действий в Чеченской Республике частично или полностью разрушены тысячи зданий и сооружений из кирпича, бетона и железобетона. В результате этих разрушений образовалось огромное количество техногенного сырья в виде бетонного, железобетонного и кирпичного боя (рис. 2.16). Масса и груды этих отходов и материалов загрязняют окружающую среду, загромождают площадки под разрушенными зданиями и около них, а также препятствуют восстановительным работам. Расчистка строительных площадок от строительного мусора связана не только с большими затратами труда, транспортными расходами, но и с необходимостью отводить для свалки этого мусора специальные места [1,2].

Данные обстоятельства вызывают острую потребность в максимальной утилизации образовавшегося мусора, использовании его при ремонте и восстановлении разрушенных зданий и сооружений или для нового строительства.

Решение рассматриваемого вопроса об использовании материалов и изделий на вторичных заполнителях имеет важное народно-хозяйственное значение как сточки зрения экономии ресурсов, так и с точки зрения утилизации вредных отходов для обеспечения экологической безопасности.

Проведенные натурные обследования показывают, что груды бетонного, железобетонного и кирпичного боя, штукатурки, засыпок, деревянных обломков



Рисунок 2.16 - Техногенное сырье в виде железобетонного лома от разрушенных зданий и сооружений (г. Грозный)

и т.д. следует рассматривать не как строительный мусор и отходы, создающие проблемы, а как материалы, относительно легко используемые как для строительно-восстановительных работ [3], так и в капитальном строительстве в виде: крупного и мелкого заполнителя для бетонов и строительных растворов, мелкоштучных стеновых камней и блоков, материала для стен с пустотной кладкой, плит для перегородок и самонесущих ограждений, материала для засыпки перекрытий и покрытий зданий, а также дорог, тротуаров и полов.

Получается, что одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительства является использование бетонного и железобетонного лома. Использование этих отходов требует тщательного отбора бетонных и железобетонных фрагментов для разрушения, освобождения от кусков арматуры, с целью получения заполнителя различных фракций. Следует отметить, что щебень из бетонного лома состоит из фрагментов крупного и мелкого заполнителя, скрепленных цементным камнем и контактной зоны между ними, состоящей преимущественно из кристаллов портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, этtringита $\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и карбонатов

кальция CaCO_3 . Гранулы щебня имеют частичную или сплошную оболочку цементного раствора, эта оболочка обладает пористостью, которая приводит к повышенному водопоглощению заполнителя.

Указанные особенности строения и свойств щебня из бетона свидетельствуют о том, что такие заполнители имеют значительные отличия от традиционно используемых, что, безусловно, должно учитываться при применении их в железобетонных конструкциях различного назначения [4].

Все это свидетельствует о том, что вторичное использование бетонного и железобетонного лома требует тщательной подготовки бетонных отходов для переработки, качественной оценки свойств полученного заполнителя.

Необходимо установить обобщенные зависимости формирования структуры бетонных смесей и бетонов от главных факторов для организации производства изделий и конструкций и прогнозирования их эксплуатационной надежности.

Физико-механические свойства исходного материала определяют характеристики получаемого из него заполнителя. Однако, на переработку могут попадать фрагменты из различных конструкций: несущих, ограждающих, элементов фундаментов, то и получаемый заполнитель может отличаться значительной неоднородностью [5]. Поэтому необходим постоянный контроль качества продуктов дробления с целью определения области их применения. В настоящее время существует методика оценки качества щебня, которая включает порядок отбора проб, перечень исследуемых показателей свойств щебня и расчет массы проб, поступающих на испытания (ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний»). Для систематизированных исследований получаемых продуктов переработки необходимо иметь испытательные лаборатории, оснащенные необходимым оборудованием.

На основании систематизированных исследований бетонного лома в качестве заполнителя для бетона в МГСУ были разработаны технические

условия на щебень, получаемый при дроблении бетонных и железобетонных фрагментов (ТУ 5711-001-40296246-99). В ТУ сформулированы требования к щебню из бетона, который должен иметь: плотность зерен от 2000 до 3000 кг/м³, фракции от (3)5 до 10 мм, св. 10 до 20 мм, св. 20 до 40 мм, св. 40 до 80 (70) мм и смеси фракций 5-20 мм, содержание зерен пластинчатой и игловатой формы не более 50%, марку по дробимости 300-800, истираемость не ниже И4, содержание слабых зерен менее 10%, содержание пылевидных и глинистых частиц не более 3%, морозостойкость F15. Если щебень из бетона будет удовлетворять вышеперечисленным условиям, то он может быть применен в качестве крупного заполнителя для тяжелых бетонов классов по прочности до В30 включительно, а также для дорожных строительных работ.

Для изучения структуры и физико-механических свойств были отобраны бетонные и железобетонные фрагменты из тяжелых бетонов главным образом из разрушенных несущих конструкций зданий и сооружений г. Грозного: плит перекрытий, лестничных маршей и фундаментных блоков. После дробления и сортировки заполнителя на фракции 5-20 мм, он был подвергнут испытаниям в соответствии с ГОСТ 8267-93 и ТУ 5711-001-40296246-99. Полученный заполнитель имел следующие характеристики: насыпная плотность 1090 кг/м³, средняя плотность 2280 кг/м³, объем пустот 51%, водопоглощение 6%, марку по дробимости 400, истираемость И2 и морозостойкость F15.

На полученных заполнителях были проведены комплексные исследования технических свойств бетонных смесей и бетонов. Составы бетонов представлены в табл. 2.6.

Изучали удобоукладываемость бетонных смесей, характеристики пористости, прочностные и деформативные свойства, а также морозостойкость и трещиностойкость бетонов после тепловлажностной обработки. Кроме того, были определены следующие характеристики структуры: степень гидратации цемента, общая и капиллярная пористость бетонов. В табл. 2.6 также приведены свойства бетонных смесей и характеристики пористости бетонов.

Таблица 2.6 - Составы и свойства исследуемых бетонов на вторичном
заполнителе

№ состава	Расход составляющих бетонной смеси				Свойства бетонных смесей			
	Цемент, кг/м ³	Вода, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Вторичный щебень, кг/м ³	Жесткость, с	Осадка конуса, см	Общая пористость, %	Капиллярная пористость, %
1	240	190	590	1190	25	0	16	12
2	320	210	500	1150	20	0	17	11
3	400	220	420	1120	15	4	18	10
4	480	240	340	1090	10	6	19	9

Анализ данных по удобоукладываемости бетонных смесей показывает, что щебень из бетонного лома имеет повышенное водопоглощение, а бетонные смеси повышенную водопотребность. Известно, что заполнитель с высоким водопоглощением активно участвует в формировании структуры в бетоне.

Он сначала поглощает воду, а после схватывания цементного теста и образования капиллярно-пористой структуры начинает отдавать поглощенную воду в цементный камень, способствуя этим повышению степени гидратации цемента и упрочнению контактной зоны между цементным камнем и заполнителем. Положительно влияет также на формирование контактной зоны и «родство» цементного камня и заполнителя из бетона.

Повышенную капиллярную пористость исследуемых бетонов в сравнении с бетонами на традиционных заполнителях из плотных горных пород можно объяснить тем, что капиллярные поры в исследуемых бетонах содержатся не только в цементном камне, но и в щебне из бетона [6]. Однако, исследуемые бетоны имели достаточную морозостойкость F100, что в первую очередь связано с плотностью цементного камня.

При нагружении бетона кратковременной нагрузкой были определены кубиковая и призмная прочность, начальный статистический модуль упругости, нижняя и верхняя границы области трещинообразования.

О деформативности бетонов судили по величинам полных относительных

продольных и поперечных деформаций, определенных при напряжениях сжатия, соответствующих нижней (R_T^o) и верхней (R_T^v) границам области образования микротрещин, а также при $\sigma = 0, 92R_{np}$.

Для определения R_T^o и R_T^v измеряли время прохождения ультразвуковых колебаний через бетон в процессе его нагружения. Прозвучивание осуществлялось по четырем направлениям: двум перпендикулярным по отношению к сжимающему усилию и двум диагональным. Использовался прибор УКБ-1, датчики УЗК укрепляли на гранях призмы с помощью резиновых бинтов.

В табл. 2.7 представлены прочностные и деформативные свойства исследуемых бетонов.

Таблица 2.7 - Прочностные и деформативные свойства исследуемых бетонов

№ составов из табл. 1	Кубиковая прочность, МПа	Призмен. прочность, МПа	Модуль упругости, МПа*10 ³	Нижняя параметри- ческая точка,	Верхняя параметри- ческая
1	26	19	22	10	16
2	28	20	23	11	17
3	30	22	26	13	19
4	35	26	30	15	22

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что на заполнителях, полученных при утилизации техногенного сырья в виде разборки зданий и сооружений, возможно получение широко распространенных бетонов классов В15-В20 как для ремонтно-восстановительных работ, так и для капитального строительства. Эти исследования дают основу для оптимизации бетонов и прогнозирования их эксплуатационных свойств.

Выводы по 2-ой главе

1. Произведен анализ факторов различной природы, влияющие на экологическую обстановку в регионе. Исследованы природные условия и ландшафты, а также геоэкологическая обстановка на территории Чеченской Республики.

2. Изучение вопросов урбанистики и основных эффективных стратегий в управлении отходами показал важность комплексного подхода к управлению городским развитием, который должен учитывать, как экономические, так и экологические аспекты, поскольку результаты исследований показывают разрозненные модели городского роста, соответствующие разным административным единицам, даже при реализации одного и того же плана. Комплексное планирование и внедрение устойчивых практик, нацеленных на разработку и внедрение технологий рециклинга (повторного применения) техногенных отходов, будут способствовать снижению негативных последствий разрастания городов и созданию более устойчивой городской среды со значительно меньшим эмиссионным в плане углеродных выбросов эффектом.

3. Исследовано влияние урбанизации на эмиссию парниковых газов. Установлено, что степень влияния зависит от многих факторов, таких как плотность, экономический рост, технологический прогресс и количество потребляемой энергии.

3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С НИЗКИМ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ

3.1 Анализ энергоемкости, эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии

3.1.1 Анализ энергоемкости предприятий стройиндустрии

Строительство является самой материалоемкой отраслью: в производстве стройматериалов занято более 70 отраслей экономики страны. В строительстве используется 50% продукции промышленности стройматериалов, около 18% металлопроката, 40% пиломатериалов, более 10% продукции машиностроительной промышленности. Структура продукции строительной отрасли наглядно демонстрирует, что энергопотребление при создании продукции распределяется по двум основным стадиям – производство строительных материалов и процесс возведения объектов и составляет примерно 23,5% от сметной стоимости строительно-монтажных работ. Производство строительных материалов является более крупным потребителем энергетических ресурсов, чем возведение объектов (Опарина, 2014).

Энергоемкость строительного материала – это совокупные энергозатраты на производство, транспортировку, строительно-монтажные работы, эксплуатацию (ремонтные и реставрационные работы) за весь расчетный срок службы этого материала, а также на дальнейшую утилизацию и рециклинг (Опарина, 2014).

В табл. 3.1 представлена энергоемкость некоторых строительных материалов. Согласно табл. 3.1 наиболее энергоемким является производство алюминиевого профиля и металлоконструкций, наименее энергоемким – производство гипсокартона. Более полный перечень энергозатрат на производство строительных материалов представлен в Методических

рекомендациях... (1998). Большие затраты топлива приходятся на производство цемента, извести, стекла, керамической плитки и кирпича (рис. 3.1).

Таблица 3.1 - Энергоемкость производства строительных материалов
(МРР-3.2.23–97, 1998)

№	Виды материала	Ед. измерения	Энергетические затраты, кг усл. топлива
1	Алюминиевый профиль	т	6120
2	Металлоконструкции строительные	т	1050
3	Сталь арматурная	т	920
4	Порландцемент М-600	т	345
5	Портландцемент с минеральными добавками М-600	т	335
6	Порландцемент М-500	т	290
7	Порландцемент М-400		280
8	Кирпич керамический	тыс. шт. усл. кирпича	260
9	Щебень, гравий	м ³	30
10	Песок	м ³	25
11	Известь	м ³	25
12	Листы гипсокартонные	м ²	1,1

На производство 1 т шлакопортландцемента марки 300 необходимо затратить 140 кг у.т. Затраты энергии еще выше при производстве 1 т портландцемента марки 600 – 345 кг у.т. Поэтому увеличение производства шлакопортландцемента может дать значительную экономию энергии. При переходе с мокрого способа производства цемента на сухой также можно получить экономию первичных энергоресурсов до 55%. Другим перспективным энергосберегающим мероприятием в промышленности строительных материалов является производство цемента с магнитовосприимчивыми добавками. Термическая и индукционная обработка отформованного бетона в магнитных туннельных камерах позволяет снизить расход цемента на 15-20%. За

счет применения тепловой обработки повышается производительность труда, улучшаются санитарно-гигиенические условия производства и в 1,5-2 раза сокращается время термообработки изделия [Савин, 2011].

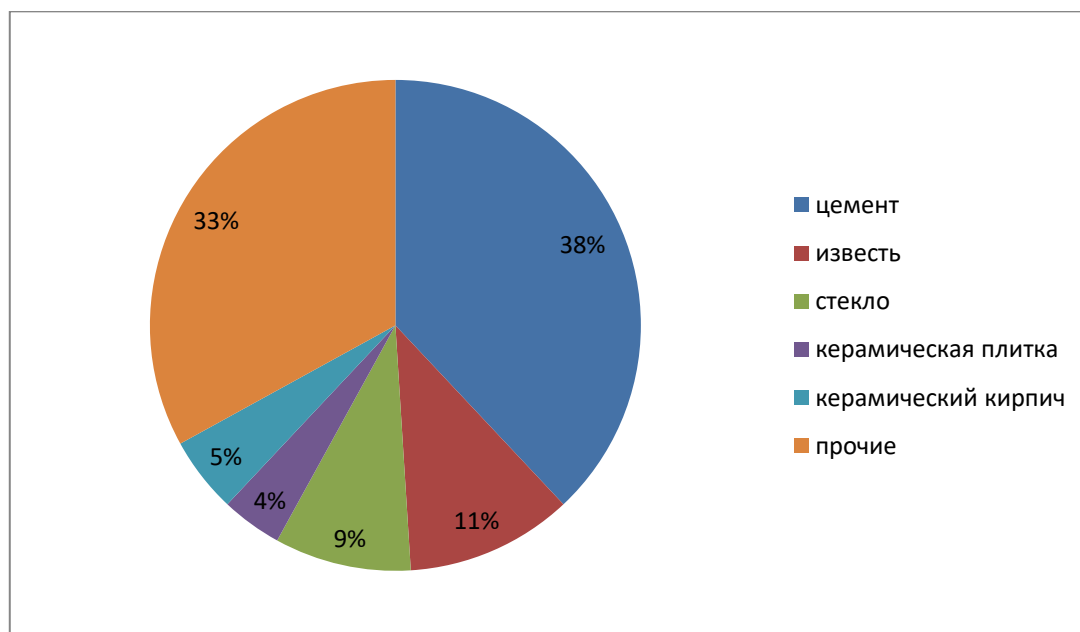


Рисунок 3.1 - Доли энергетических ресурсов на производство основных строительных материалов (по материалам Алоян и др., 2016)

На заводах сборного железобетона наиболее энергоемкими участками являются арматурные цехи, которые на 1 тонну выпускаемой продукции потребляют 100-150 кВт·ч электроэнергии. К этому следует добавить, что на изготовление арматурной стали расходуется порядка 1,8 т.у.т. Внедрение современной прогрессивной техники с применением автоматического управления производством позволяет экономить на 1 тонну продукции 5-15 кВт·ч электроэнергии. Рациональным способом производства продукции на заводах ЖБИ является применение электротермообработки с помощью индукционного нагрева изделий в камерах проходного типа вместо паровых пропарочных камер. Экономический эффект при таком способе обработки 1м³ изделий составляет 100-120 кВт·ч. На энергозатраты при производстве ЖБИ большое влияние оказывает правильный выбор марки цемента. Применение высокоактивных цементов при пропаривании изделий позволяет снизить на 25-30°C температуру прогрева и таким образом сократить затраты тепла на его

производство. Быстротвердеющие цементы, например, с кристаллизационными добавками, набирают в естественных условиях проектную прочность через 3-6 часов, что позволяет уменьшить энергозатраты на 15-20%. Снижение энергоемкости производства строительных материалов можно получить путем использования бесцементных автоклавных (силикатных) бетонов. Так, по сравнению с обычными цементами, при производстве 1 м³ плотного силикатного бетона можно экономить 56 кг у.т. и 15 кВт·ч электроэнергии. Использование промышленных ходов (золы, шлаков) позволяет значительно снизить энергоемкость конструкции. Например, если применить вместо керамзитобетона газозолобетон плотностью 800 кг/м³, то экономия составит порядка 106 кг у.т. на 1 м³ бетона [Савин, 2011].

Крупным потребителем энергии в промышленности строительных материалов является производство глиняного и силикатного кирпича. Внедрение комплексных, механизированных и автоматизированных технологических линий с использованием ЭВМ в кирпичной промышленности позволяет значительно сократить энергоемкость и повысить производительность труда. Основные затраты энергии приходятся сушку сырца кирпича и его обжиг. Суммарные удельные затраты энергии на производство 1000 шт. глиняного кирпича составляют порядка 300 кг у.т. Резервы экономии энергии сосредоточены в значительном снижении тепла с уходящими газами в печах для сушки и обжига. Сушилки устанавливаются перед туннельными печами, предназначенными для обжига. Чтобы уменьшить теплопотери при сушке и обжиге кирпича, проводится целый ряд мероприятий: уменьшение подсоса холодного воздуха, оштукатуривание печей и сушилок, применение подвесных сводов, рациональное размещение горелок. Использование для сушки энергетического потенциала тепла газов, уходящих из туннельных печей, температура которых равна 120°C, понижает энергоемкость производства глиняного кирпича. Перечисленные выше мероприятия дали возможность на передовых кирпичных заводах страны сократить удельный расход топлива на 100 кг у.т на 1000 шт. кирпича. Автоматическое управление тепловыми

процессами при сушке и обжиге кирпича позволяет также сократить расход энергии.

Энергоемкость силикатного кирпича по сравнению с глиняным в несколько раз ниже и составляет около 85 кг у.т на 1000 шт. кирпича. Технологический цикл его производства в 8-10 раз короче. В то же время силикатный кирпич уступает глиняному по показателям теплозащиты и долговечности. При производстве глиняного и силикатного кирпича можно добиться значительного снижения энергоемкости и увеличения теплозащиты за счет производства их модифицированных изделий с пустотами. При увеличении пустотности кирпича на 20% расход энергии снижается на 0,12 ГДж. на 1000 шт., а на 30% – уменьшается на 0,17 ГДж. на 1000 шт., что составляет примерно 10% от среднего удельного расхода топлива и электрической энергии на их производство. Наружные ограждающие конструкции из легких бетонов составляют конкуренцию стенам из кирпича. Легкие бетоны изготавливаются на основе пористых заполнителей (керамзита, шунгизита, вспученного перлита и др. материалов). Объемная масса пористых заполнителей должна быть не более 400 кг/м³, так как при более высокой объемной массе энергоемкость легкобетонных стен становится равной энергоемкости стен из глиняного кирпича или будет превышать ее. Кроме того, при увеличении объемной массы пористого заполнителя уменьшается его теплозащита. Так, сопротивление теплопередаче керамзитобетонной стены с объемной массой керамзита 400 кг/м³ (марки 400) на 25% выше такой же стены, изготовленной из керамзита марки 500. Удельная энергоемкость керамзита составляет порядка 100 у.т/м³. Для его производства в основном расходуется котельно-печное топливо и небольшая доля электроэнергии. Например, на производство 1 м³ керамзита марки 400 расходуется на 15% топлива меньше, чем на керамзит марки 500. Большую экономию энергии можно лучить и при применении отходов производства – доменных шлак удельная энергоемкость которых составляет 8-30 кг у.т/ м³, что значительно меньше, чем у керамзита (Савинов, 2011).

Энергосберегающие инновации при производстве строительных

материалов включают в себя [Kuzina, 2015]:

—разработку теоретических подходов, уточнение понятийного аппарата в области экономики зеленого строительства, промышленности строительных материалов за счет применения энергосберегающих и экологических инноваций;

—оценку потенциала применения энергоэффективных инноваций в промышленности строительных материалов;

—обоснование роли технологических отраслей как ресурсной базы для развития промышленности;

—формирование институциональных механизмов для развития "зеленого" строительства в сфере промышленности строительных материалов, обеспечивающих внедрение энергосберегающих инноваций в экономику;

—разработку концептуальных положений, методических рекомендаций по оценке эффективности конкурентоспособности продукции предприятий по производству строительных материалов, зависящих от требований к ее экологичности и энергоэффективности;

—разработку методических рекомендаций по управлению проектами внедрения инноваций в строительной отрасли, включая экологические и энергетические факторы;

—формирование организационно-экономического механизма развития "зеленой" экономики применительно к промышленности строительных материалов, включая:

а) оценку интересов участников инвестиционной и строительный проект (инвесторы, строительные компании, строительная индустрия, потребители) с развитием промышленности строительных материалов, основанный на принципах ресурсо- и энергосбережения;

б) методы экономического стимулирования производства и использования энергоэффективных и экологичных материалов и технологий в строительстве;

с) обоснование прогрессивных форм финансирования внедрения энергосберегающих инноваций;

д) оценка эффектов (экономических, социальных, экологических,

энергетических, климатических) от внедрения энергосберегающих технологий - сберегающие инновации, а также определение ущерба окружающей среде, и снижение нагрузки на окружающую среду со стороны предприятий по производству строительных материалов;

е) совершенствование системы эколого-экономического учета потребления ресурсов и энергии с учетом отражения энергосберегающих инноваций:

—разработку рекомендаций по экологическим и энергетическим факторам для оценки недвижимости и эффективности проектов в сфере строительства;

—внедрение энергосберегающих инноваций в промышленности строительных материалов;

—изучение областей применения энергосберегающих инноваций в промышленности строительных материалов как фактора "зеленого" роста экономики.

Таким образом, эффективность строительных материалов по их энергозатратам и трудоемкости не всегда соответствует их эффективности по технологическим, физико-механическим свойствам, долговечности и т.д. Однако, путем комплексного подхода по внедрению умных систем энергопотребления и технологий вторичного использования техногенных продуктов в разы может повысить эффективность строительных материалов и сделать их экологически эффективными без снижения их технико-технологических показателей.

3.1.2 Анализ эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии

Строительство потребляет 40% мировой энергии и отвечает за треть мировых выбросов парниковых газов. Выбросы парниковых газов состоят из углекислого газа (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O) и водяного пара (H₂O), которые вносят значительный вклад в глобальное потепление и изменение климата [Ke En Lai, 2023].

Согласно исследованиям [Hosam Elhegazy et al, 2023], из всех видов

строительства на климатические изменения в большей степени влияет строительство промышленно-гражданских зданий и автомобильных дорог.

Существует несколько методов оценки устойчивости зданий, но все их можно свести к следующим метрикам:

1. Воплощенный углеродный след — количество углекислого газа, выделяемого при производстве материалов и конструкций здания.

2. Эксплуатационный углеродный след — общее количество углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в процессе эксплуатации здания, включая выбросы от использования энергии, отопления и вентиляции.

Таким образом, углеродный след здания формируется уже на этапе добычи и производства материалов. Принято считать, что наибольшие выбросы углекислого газа в течение жизненного цикла здания происходят на этапах производства материалов и эксплуатации. Некоторые исследования показали [Kumanayake and Luo, 2018; Peng, 2016; Zhang and Wang, 2015], что выбросы углерода на этапе эксплуатации больше, чем выбросы на этапе строительства всего на 30%. Соотношение между годовыми выбросами на этапе строительства и годовыми эксплуатационными выбросами колеблется от 0,39 до 1,30, при среднем соотношении 0,62. Это доказывает, что ежегодные выбросы углерода на этапе строительства больше, чем на этапе эксплуатации [Lin Chen at al, 2023].

Из выбросов предприятий строительных материалов более 40% приходится на цементную промышленность, 18-20% - на производство кровельно-изоляционных материалов, 10% - на асбестоцементные производства, 15% - на нерудные строительные материалы, менее 10% - на производство бетонных и железобетонных конструкций и изделий. Причем при производстве цемента выбрасывается от 5 до 8% углекислого газа в мире [Чомаева, 2016; Guo Y. at al, 2023; Andrew, 2019; Miller at al, 2016].

Анализ интенсивности выбросов парниковых газов от строительной отрасли в 44 странах показал, что общая интенсивность выбросов парниковых газов в этих странах варьируется от 0,165 кг CO₂e/евро до 2,05 кг CO₂e/евро. При этом пять крупнейших строительных отраслей с наибольшим выбросом

парниковых газов находятся в Китае, Индии, Южной Африке, Тайване и Южной Корее. Наиболее существенный вклад в выбросы в странах с наиболее высоким уровнем выбросов вносит производство бетона и стали [Robert H. Crawford, 2022] (рис. 3.2).

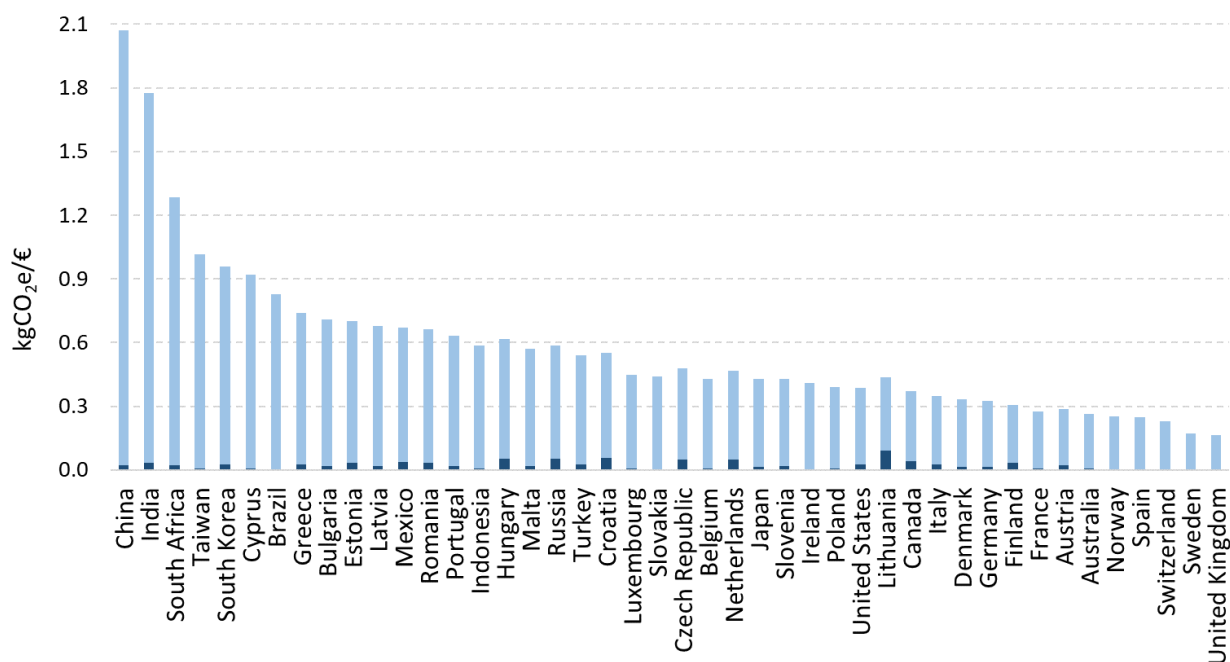


Рисунок 3.2 - Интенсивность прямых и суммарных выбросов парниковых газов в строительной отрасли 44 стран

Существует множество методов сокращения углеродного следа в строительной отрасли, например, использование устойчивых материалов, таких как биоуголь, биопластик, сельскохозяйственные отходы, шерсть животных, летучая зола и самовосстанавливающийся бетон [Lin Chen et al., 2023].

Таким образом, анализ методов снижения углекислого газа при производстве строительных материалов, в частности, цемента, где данная отрасль вносит наибольший вклад в эмиссию парниковых газов [Mohd Haniffa et al., 2022], можно сделать следующие выводы:

1. Очистку амином с \$84,1/т CO₂ и сжигание кислородом с \$44,1/т CO₂, что примерно вдвое меньше, чем очистка MEA. Зацикливание кальция в хвостовой части и интегрированные конфигурации составили приблизительно \$54,6/т CO₂ и \$59,7/т CO₂ соответственно;

2. Минеральная карбонизация является одной из наиболее перспективных технологий для снижения выбросов CO_2 . Этот процесс имеет двойную выгоду: снижение выбросов CO_2 и использование твердых отходов в процессе карбонизации для производства определенных продуктов с добавленной стоимостью;

3. Непрямая карбонизация с использованием экстрагента NH_4Cl лучше подходит для связывания CO_2 , чем такие экстрагенты, как HCl , HNO_3 и CH_3COOH . Преимущество использования NH_4Cl заключается в том, что он легко регенерируется и не требует основных реагентов при осаждении карбоната кальция;

4. Поглощение CO_2 при минеральной карбонизации различных материалов на основе цемента составило 7-25 %. Продукты гидратации ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CSH), так и негидратированный цементный клинкер (C_3S и C_2S) реагируют с CO_2 следующим образом. Поглощение CO_2 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ (негидратированным) было выше, чем $\beta\text{-C}_2\text{S}$. С другой стороны, C_3A имел минимальную реакционную способность с CO_2 , а исследование C_4F с CO_2 до сих пор отсутствует в литературе;

5. Карбонизация заполнителя значительно снизила водопоглощение, пористость и дробимость, одновременно увеличив кажущуюся плотность. Бетон, приготовленный с использованием обработанного таким образом заполнителя, имеет лучшую прочность на сжатие и модуль упругости, с увеличенным объемом твердой фазы на 11,8 %, чем необработанный заполнитель. Традиционно применяемый заполнитель, как правило, имеет размер частиц от 5 до 20 мм, секвестрирует почти 7,9 кг CO_2 на тонну;

6. Карбонизация максимальна в тех твердых отходах, где концентрация CaO выше (но фаза минерала также важна, в которой связан кальций), большая площадь поверхности и оптимальная относительная влажность 50–70%. Карбонизация снизила pH твердых отходов от порогового значения (11,5), сделав их менее опасными;

7. В настоящее время строительные продукты, полученные из отходов,

являются конкурентоспособными по цене на рынке. Различные компании успешно производят строительные материалы из различных твердых отходов путем минеральной карбонизации. Искусственные заполнители полностью заменяют использование натурального камня в различных строительных применениях, что дополнительно способствует эффективному ресурсосбережению.

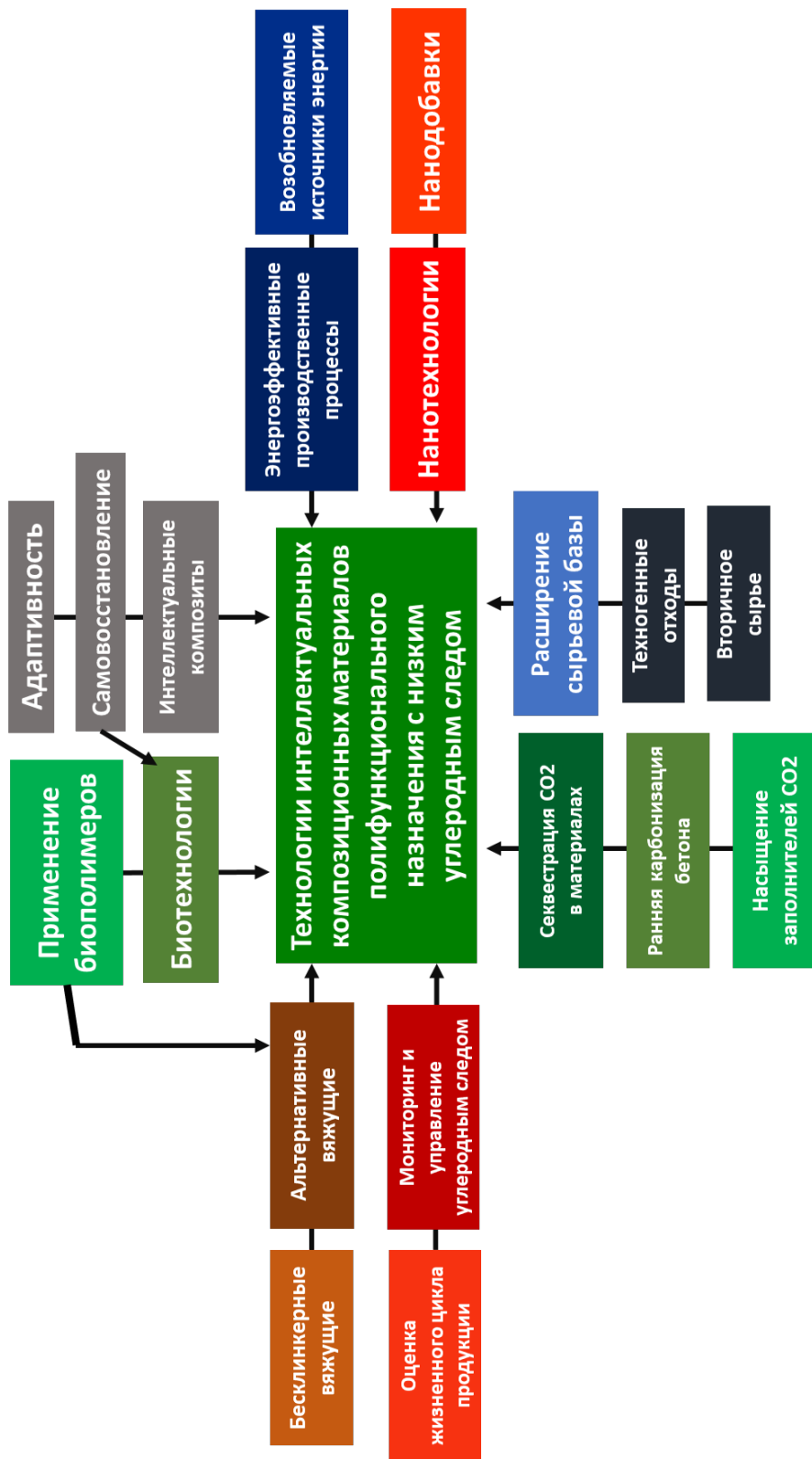
3.2 Современные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки, в технологии интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом

На сегодняшний день существуют различные методы и технологии для снижения углеродной следа строительных материалов. Основные из них приведены на рис. 3.3

Активно ведутся исследования способности бетонных композитов поглощать углекислый газ. Достигается это за счет карбонизации, которая как раз-таки является кислотным типом коррозии бетона, которая может снизить значения pH бетона, что приведёт к коррозии арматуры в железобетонных изделиях. Но в данном вопросе есть свои нюансы, так как такой тип коррозии связан преимущественно со стадией эксплуатации бетонных изделий.

Выделяют раннюю и позднюю карбонизацию. Принудительная ранняя карбонизация достигается за счет выдерживания свежесуспензированной бетонной смеси в среде, насыщенной углекислым газом (УГ). Использование этого метода позволяет достигать таких показателей как ускорение твердения бетона, увеличение прочности в ранние сроки и что немаловажно захоронение углекислого газа [Рузавин А.А., 2017].

Актуальной темой для научных изысканий является усиление эффекта поглощения УГ материалами на цементной основе.



следом

Рисунок 3.3 - Современные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки, в технологии интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом

Исследователями Массачусетского технологического института (MIT) была разработана технология CIPCC (Chemically-induced pre-cure carbonation) т.е. химически индуцированная карбонизация перед отверждением для минерализации и постоянного хранения CO₂ в цементе. Суть данного метода состоит в том, что в бетонную смесь вводится бикарбоната натрия в количестве 0,5-2% от массы вяжущего. По словам авторов, технология CIPCC в отличие от некоторых других подходов, CIPCC позволяет точно контролировать количество CO₂, изолированного в бетоне. Это обеспечивает точную карбонизацию и облегчает лучшее управление процессом хранения. Также это может компенсировать по меньшей мере 40 % выбросов, связанных с производством цемента, при прогнозировании достижений в производстве бикарбоната натрия с более низким уровнем выбросов и, что до 15% цемента можно заменить бикарбонатом натрия без ущерба для механических характеристик бетона [Hajduczek M., 2023].

Ученые из Университета Пердью разработали способ модификации бетона для увеличения количества поглощаемого углекислого газа при твердении и эксплуатации. Метод состоит в том, что в бетонную смесь вводится диоксид титана (TiO₂) в количестве 0,5-2% от массы вяжущего. Согласно результатам 3D-рентгеновского микроскопа, TiO₂, добавленный в бетон, делает поры меньше, более однородными и сферическими (рис. 3.4). Как известно, снижение пористости приводит к уменьшению диффузии CO₂ в образцах, что подразумевает более низкий коэффициент скорости карбонизации. Однако данные, полученные при использовании TiO₂, показали, что наномодифицированные образцы быстрее поглощают больше CO₂ при уменьшении пористости, что противоречиво. Наномодификация цементных систем увеличивает площадь поверхности пор при одновременном снижении общей пористости. Таким образом, коэффициент скорости карбонизации напрямую зависит не от объема пор, а от площади поверхности пор [López-Arias, 2023].

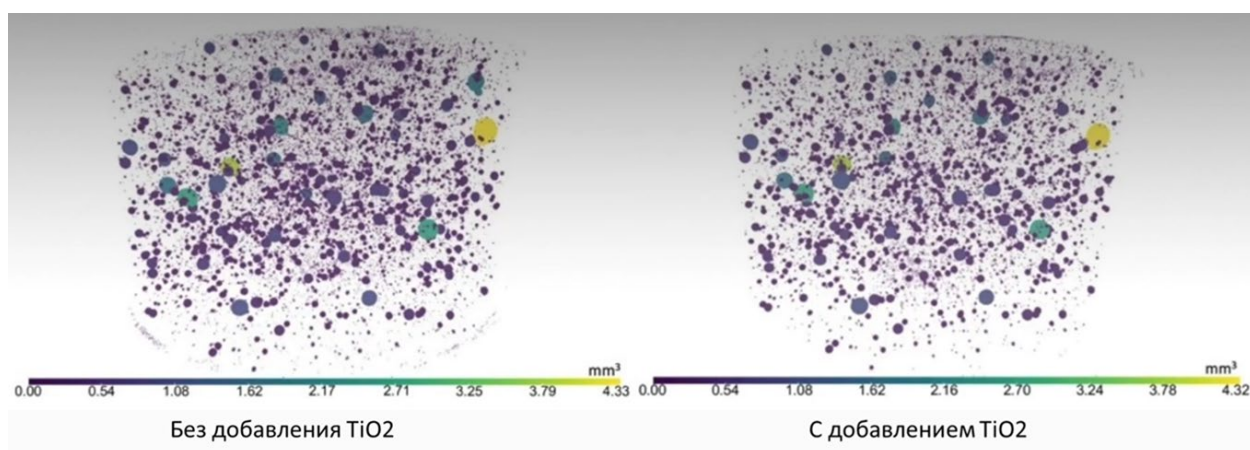


Рисунок 3.4 - Результаты 3D-рентгеновского анализа образцов без TiO_2 и с TiO_2

Также большой потенциал имеет применение биоугля в качестве материала, улавливающего углерод, в цементирующих композитах. Биоуголь обладает превосходными адсорбционными свойствами CO_2 и в перспективе может стать улавливающим углерод строительным материалом с пористой структурой и большой площадью поверхности. Добавление биоугля способствует реакции гидратации цемента, увеличивает образование продуктов гидратации за счет образования зародышей и внутреннего затвердевания, а также ускоряет скорость и углубляет степень гидратации [Ju. Liu, 2022]. Автором статьи [Gupta S., 2021] было обнаружено, что добавление биоугля из скорлупы арахиса (1-3% от массы цемента) приводило к увеличению поглощения CO_2 на 2-3% в цементных композитах. Пранит и др. обнаружили, что связывание CO_2 в 50-миллиметровом кубе бетона, содержащего кукурузный биоуголь (4 % от массы цемента), может быть увеличено на 0,124 кг [Praneeth S., 2020].

Поскольку экспериментальных данных о поглощении CO_2 на этапе вторичной переработки недостаточно, в работе [Leemann, 2023] исследовалось определение поглощения CO_2 вторичными заполнителями бетона (RA) с момента дробления до повторного использования в бетоне из вторичных заполнителей (RC). Образцы с трех заводов, производящих как RA, так и RC, были собраны и хранились как на заводах, так и в лаборатории в течение нескольких месяцев (рис. 3.5).

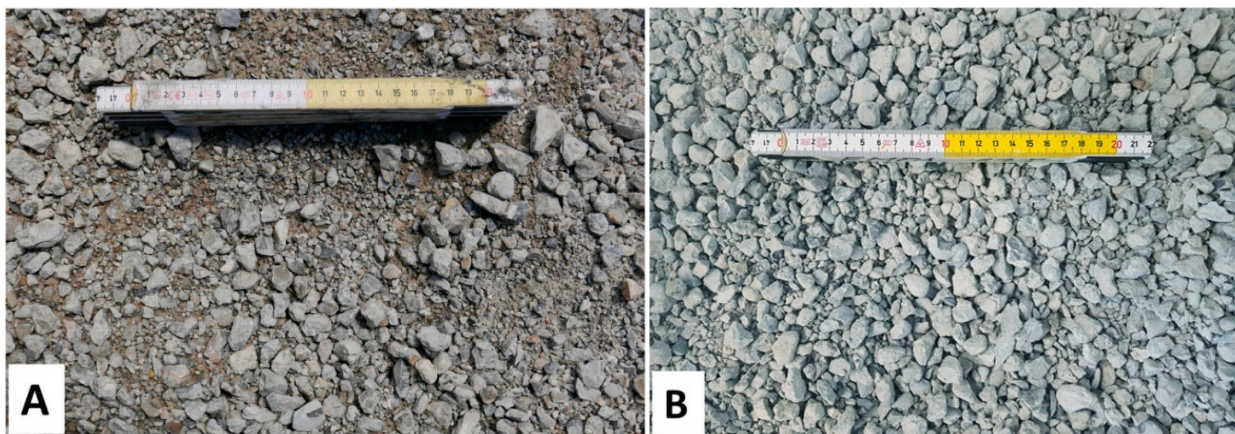


Рисунок 3.5 - Переработанный заполнитель RA-1 после 1,5-месячной выдержки в лаборатории (А) и переработанный заполнитель RA-3, доставленный в лабораторию (В).

Изменение количества некарбонизированного цементного теста в межзерновом пространстве заполнителя с течением времени было определено с помощью нового метода: анализа изображений образцов, погруженных в эпоксидную смолу, измельченных и обработанных фенолфталеином (рис. 3.6). Это позволило рассчитать поглощение CO_2 при хранении переработанного заполнителя. Количество поглощенного CO_2 соответствует примерно 5,4–12,6% от общего объема выбросов CO_2 , первоначально связанных с производством цемента

В статье [Tagwale, 2015] рассматривается потенциал поглощения CO_2 бетоном. Чтобы проверить поглощение CO_2 бетоном, была создана искусственная среда CO_2 для затвердевания бетонных кубов с использованием сухого льда. С учётом характеристик бетона класса В20 было проведено сравнительное экспериментальное исследование образцов бетона, затвердевших на воздухе и затвердевших в среде, насыщенной углекислым газом, на проницаемость (с использованием индикатора фенолфталеина) и прочность на сжатие. Анализ результатов испытаний показал, что прочность на сжатие образцов, затвердевших в CO_2 , на 22% выше, чем у затвердевших на воздухе, а проницаемость CO_2 составила 13,5 мм через 2 часа. Было установлено, что скорость проникновения CO_2 и набора прочности бетоном в первые часы была высокой.



Рисунок 3.6 - Этапы анализа изображения для сегментации образца фракции 4/8 мм: 1 - исходный скан, 2 - сегментация заполнителей, 3 - сегментация необуглероженных частей заполнителей.

Делая выводы, можно сказать, что, оптимизируя структуру материалов на основе цемента для эффективного улучшения характеристик улавливания углерода, можно эффективно повысить способность к связыванию углерода. Повышение способности материалов на основе цемента к связыванию углерода за счет увеличения общего количества поглощаемого углерода требует большего внимания, что может стать важным направлением исследований в области связывания углерода материалами на основе цемента.

Достижение углеродной нейтральности требует комплексного подхода, включающего снижение выбросов углекислого газа на всех этапах жизненного цикла зданий. Одним из ключевых направлений является использование строительных материалов на биологической основе, которые могут существенно сократить воздействие на окружающую среду. Эти материалы получают из возобновляемых источников, таких как растения, животные, ферменты и микроорганизмы [United Nations Environment Programme, 2023].

Исследователи из Университета Колорадо в Боулдере разработали способ использования водорослей для создания углеродно-нейтрального или даже углеродно-отрицательного бетона. Исследователи используют биогенный известняк, выращенный водорослями вместо добытого в карьере известняка, для

производства портландцемента, ключевого и наиболее углеродоемкого ингредиента бетона. Микроводоросли производят известняк (или карбонат кальция) естественным путем в процессе фотосинтеза. По мнению исследователей, бетон, изготовленный из этого «биогенного известняка», является нейтральным по отношению к углероду, поскольку углекислый газ, выбрасываемый в атмосферу при его сжигании для получения цемента, равен тому, что микроводоросли поглощают из атмосферы во время своего роста. Они подсчитали, что это позволило бы сэкономить две гигатонны углекислого газа в год от выбрасывания в атмосферу и потенциально изолировать дополнительно 250 миллионов тонн. По оценкам исследователей, имея от одного до двух миллионов акров открытых водоемов в США, страна могла бы производить достаточно этого вещества, чтобы производить весь необходимый ей цемент. Команда ученых работает с быстрорастворимыми мутно-белыми микроводорослями *coccolithophores*, которые производят наибольшее количество нового карбоната кальция на планете, включая цветение, которое можно увидеть из космоса. Организмы используют солнечный свет, морскую или пресноводную воду и углекислый газ для производства того, что ученые описывают как «очень сложную, красивую» оболочку из карбоната кальция в качестве своего рода брони, и, как говорят, достаточно выносливы, чтобы жить практически в любой точке мира [www.dezeen.com].

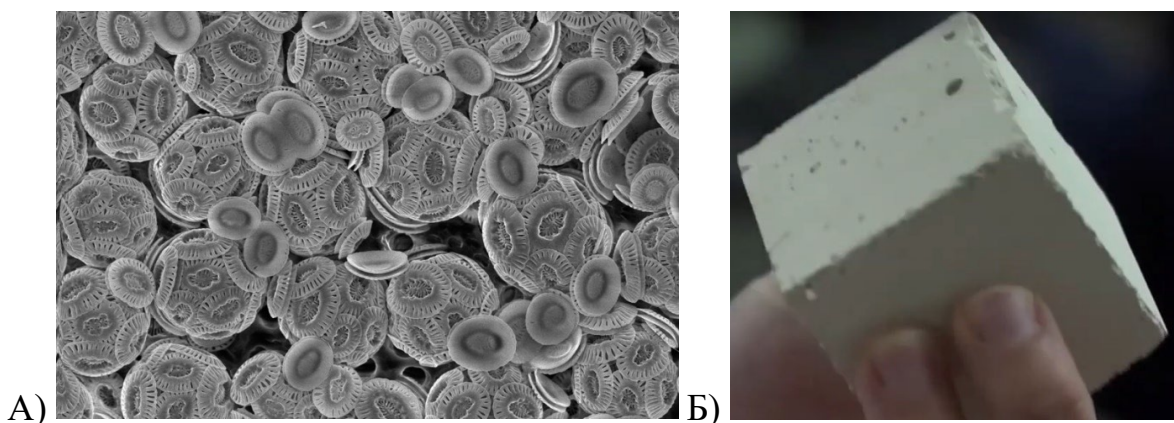


Рисунок 3.7 – Кокколитофоры из оболочки из карбоната кальция (А) и образец биобетона (Б)

Перспективным направлением по использованию биоматериалов в строительстве являются самовосстанавливающиеся бетоны. Самовосстанавливающийся бетон – это материал, который за счет изменения структуры приобретает способность к самовосстановлению. Достигается это путем введения в состав бетонной смеси почвенных бактерий. В своей работе [Жукова Г.Г., 2020] авторы исследовали бетонные композиты с добавлением бактерий *Bacillus subtilis*, вид грамположительных спорообразующих факультативно аэробных почвенных бактерий, и пришли к тому, такого типа биобетон имеет срок службы в 2 раза больше, чем традиционный. Экспериментально подтверждено, что после образования трещин бетон начинает процесс самовосстановления. Данная технология при своей технической привлекательности, стоит примерно в два раза больше, чем обычный бетон. Поскольку для образования известняка, заполняющего трещины в материалы, надо обеспечить бактерии пищей в виде лактата кальция. Поэтому все еще введутся исследования направленные на поиск замены лактату кальция.

Таким образом, анализируя вышеизложенное можно констатировать, что разработка и внедрение новых биоматериалов, а также совершенствование существующих технологий (карбонизация, наномодификация и др.) позволяют сделать их более доступными и эффективными для использования в строительстве. Такие подходы ускоряют переход к низкоуглеродной строительной отрасли и, как следствие, снижают негативное воздействие их производства на окружающую среду.

Еще одной технологией с высоким потенциалом для снижения углеродного следа строительства можно считать бесклнкерные вяжущие такие как шлакощелочные, известково-шлаковые, известково-пуццолановые, известково-кремнеземистые, грунтоцементы, алюмосиликатные вяжущие и др., как правило, представляющие собой тонкоизмельченные порошки, состоящие из гидравлически активного компонента или щелочного активатора, а также доступного природного сырья или промышленных отходов и побочных природных продуктов в качестве активных минеральных добавок [Чижов Р. В.,

2016].

Одной из главных особенностей бесклинкерной технологии вяжущих материалов можно считать использование, как природного, так и техногенного сырья [Харченко А. И., 2023]. Но то, что кардинально отличает бесклинкерную технологию от традиционной, - это полное отсутствие портландцемента, который производит до 90% углеродного следа. На данный момент благодаря трудам Муртазаева С-А.Ю., Саламановой М.Ш., Урхановой Л.А., Потапова Д.А., Исхаковой А.А. и другим ведущим отечественным ученым - исследователям эта технология активно развивается и судя по полученным результатам может стать достойной заменой привычным бетонам на портландцементной основе как низкоуглеродный и более эффективный способ получения новых композиционных строительных материалов.

3.3. Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022 применительно к теме исследования

Объектом исследования являются методы и средства разработки комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения

Целью патентных исследований является определение технического уровня, тенденций и наиболее перспективных направлений низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения.

Задачами патентных исследований являются:

1. Выявление технологий, которые могут способствовать снижению углеродного следа и улучшению экологической устойчивости на урбанизированных территориях.

2. Изучение патентов, связанных с низкоуглеродными технологиями, для

понимания текущих тенденций и разработок.

3. Анализ патентов, касающихся новых технологий и процессов, которые могут улучшить свойства вторичных композиционных материалов при одновременном снижении их углеродного следа.

4. Исследование патентов, описывающих композиционные материалы с полифункциональным назначением, которые могут выполнять несколько задач одновременно, например, улучшение продуктивности экосистем и секвестрацию углерода.

В процессе работы проводились патентные исследования различных низкоуглеродных строительных композитов. Эти исследования были направлены на выявление наиболее перспективных и инновационных технологий, которые могут способствовать снижению углеродного следа в строительной отрасли.

В отчете приведены результаты работы и их новизна, основные конструктивные, технологические характеристики, рекомендации по внедрению или итоги внедрения результатов патентных исследований.

Отчет о патентных исследованиях представлен в приложении 4 к настоящему отчету и содержит 273 стр., 15 рис., 34 табл., 3 прил.

3.4 Исследование степени экологической нагрузки на окружающую среду от многотоннажных отвалов техногенной природы

Проблема утилизации продуктов потребления и переработки (мусора и других видов отходов) — глобальная, так как его количество быстро растет на всей планете [Мусор: влияние на экологию, методы борьбы, 2022]. Тема “Многотоннажных отвалов техногенной природы” обсуждается на международном уровне: на саммитах G20, встречах различных экологических организаций, международных конференциях, форумах и т.д. Пока эффективные системы сортировки и переработки ввели лишь отдельные страны. Их опыт показывает, что решить проблему отходов возможно только при активном

участии представителей разных слоев общества.

Отходы, которые образуются в результате человеческой деятельности, в значительной степени оказывают экологическую нагрузку на окружающую среду, вызывают изменение климата, загрязняют почву, воду и воздух. Некоторые виды отходов оказывают прямое воздействие на животный мир, где мелкие предметы из синтетических материалов, отравленную органику и другие вредные вещества поедают птицы и звери, что часто приводит к их гибели. В смертельные ловушки для живых существ превращаются брошенные полиэтиленовые пакеты, сети, проволока, другие предметы.

Отходы, как известно, бывают жидкими или твердыми. По происхождению их делят на 3 большие группы:

- 1) Домашние, или хозяйственно-бытовые: садово-огородные, стройматериалы, стекло, макулатура, упаковка, электролом, текстиль, бытовая химия, крупногабаритный мусор, обработанная и необработанная древесина, остаточные отходы (те, которые нельзя отнести к определенному виду);
- 2) Промышленные: производственные, радиоактивные, боевские, металлические, спецотходы;
- 3) Сельскохозяйственные: древесные, растительные, животного происхождения.

Минприроды России выделяет 5 классов опасности отходов в зависимости от степени воздействия на окружающую среду. К первому относятся крайне опасные, которые вызывают необратимые изменения, а к пятому — почти неопасные. В классы 1, 2, 3, соответственно, входят высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные.

Несмотря на меры, принимаемые отдельными странами, количество отходов на планете увеличивается с каждым годом, образуя огромные многотоннажные отвалы. Все больше его оказывается в водоемах. Вследствие неправильной утилизации обостряется проблема загрязнения окружающей среды вредными веществами. Отвал - насыпь на поверхности горного отвода, в которой размещаются пустые породы или некондиционное полезное ископаемое

(удаляемое при разработке месторождений), хвосты обогатительных фабрик или шламы металлургических заводов [БСЭ, 1986].

Отвалы могут быть представлены внешними и внутренними отвалами вскрышных горных пород при открытых горных разработках и карьерной добыче строительных материалов; терриконами при шахтной добыче полезных ископаемых; разнообразными насыпями, навалами, дражными полями, дамбами и плотинами; шламовыми полями и хвостохранилищами обогатительных фабрик; золошлакононаливными полями тепловых электростанций (золоотвалами); отвалами металлургических шлаков, строительного мусора, бытовых отходов и им подобными искусственными образованиями, весьма разнообразными по размерам, формам и другим параметрам. Они сложены разнообразными и разнородными твердыми по агрегатному составу отходами и отбросами различных отраслей промышленности, теплоэнергетики и коммунального хозяйства, извлеченными из недр земли или собранными с ее поверхности, в той или иной степени подвергшимися обработке, перемещенными и сосредоточенными тем или иным способом на относительно ограниченном пространстве с помощью механизмов и различных средств механизированного транспорта. Отвалы всегда чередуются и сочетаются с отрицательными формами рельефа или окаймляются ими, — с карьерами, «разрезами», выемками, выработками, провалами, провальными и суффозионными ямами и воронками, оползнями, трещинами, траншеями, размоинами, вымоинами, оврагами и т.п. [Колесников, Пикалова, 1974].

Породные отвалы (терриконы) значительно влияют на изменение ландшафта и занимают большие площади плодородных земель. Однако наибольший вред они наносят, выделяя в атмосферный воздух опасные летучие соединения в результате своего горения, например такие вещества, как сероводород, угарный газ, оксиды серы, оксиды азота и пр. Терриконы также являются источником пыли, содержащей вредные примеси свинца, марганца, меди, цинка, никеля и др. Отвалы отходов, образующиеся в результате горных работ, которые обнажают серосодержащие вскрышные породы, могут быть

активными источниками кислотообразования с потенциалом серьезного загрязнения почв, поверхностных и грунтовых вод и подвергать опасности как местные, так и нижестоящие экосистемы. (Adibee N. et al, 2013). Данные соединения оказывают существенное влияние на здоровье человека, меняют состав почвенного и растительного покрова, животный мир, продуктивность лесных и сельскохозяйственных угодий. Зачастую вблизи терриконов наблюдается повышенный радиационный фон из-за незначительного содержания радиоактивных элементов в породе, сопутствующей угледобыче. [Фаткулина, 2018].

Избежать появления отходов невозможно. Среди основных причин их образования в разных сферах производства и сбыта:

- перепроизводство,
- ошибки при изготовлении,
- нарушение условий хранения,
- повреждение во время транспортировки,
- истечение срока годности,
- совершение потребителями ненужных покупок.

Решетняк и Архипов (2012) выделяют три этапа развития отвалообразования:

1. Период использования ручного труда.
2. Период использования экскаваторов и железнодорожного транспорта.

3. Современный этап отвалообразования, когда в 80-е годы 20 века был проведен учет лежалых отходов горно-добывающих и горно-обогатительных производств. В этот период отвалы начали считать потенциальным вторичным сырьем, так появились термины техногенное сырье и техногенное месторождение.

Под действием микроорганизмов разлагаются (гниют) только органические отходы: остатки пищи, растения, фекальные массы и т. д. Стекло, пластик, металл со временем распадаются под воздействием воды, ветра, солнца. Существуют биоразлагаемые полимеры, изготовленные из растительного сырья

или нефтепродуктов. К ним относятся, например, полилактиды, полиамиды, полиэстеры, полимочевины. На скорость разложения/распада в природе влияют разные факторы: состав, размер, температура окружающей среды. Для сравнения сроков разложения или распада, представим различные виды отходов/мусора:

- Кожура плодов	2-5 недель
- Огрызок	до 1 месяца
- Газеты, журналы	1-3 года
- Сигареты	1-5 лет
- Полиэтиленовые пакеты	10-20 лет
- Полимерная пленка	30-40 лет
- Консервные банки	10-50 лет
- Зажигалки	100 лет
- Пластиковые бутылки	100-1000 лет
- Стекланные бутылки	4000 лет

Однако, не смотря на учет отвалов, в настоящее время формирование отвалов в большинстве случаев носит бессистемный характер без учета перспектив вторичного использования складированного сырья. Требуется безотлагательное решение вопросов формирования техногенного месторождения любого генезиса, разработка нормативной и законодательной базы по проблемам техногенных месторождений и внедрение этого комплекса в проектирование и производство. Проблема должна решаться системно и с учетом дальней перспективы. Одна из основных целей должна состоять в возможности использования техногенного сырья. От вида применения будет зависеть процесс формирования техногенного месторождения.

Укрупненно можно выделить три типа использования техногенного сырья [Фаткулина, 2018]:

- 1) Переработка техногенного сырья для извлечения полезных компонентов;
- 2) Дополнительная переработка техногенного сырья для использования в качестве строительного материала;
- 3) Использование в качестве строительного материала без переработки.

По первому типу предполагается образование отходов переработки, аналогичных переработке твердых полезных ископаемых. Чаще всего это будут хвосты обогащения, для размещения которых необходимо предусмотреть место либо на эксплуатируемом отвале, либо в отдельном хвостохранилище.

Переработка потребует ввести в технологию отвалообразования усреднение техногенного сырья при его укладке.

По второму типу дополнительная переработка может состоять из дробления материала и измельчения. При этом будут образовываться отсеvy, которые необходимо разместить в отрабатываемом отвале. В этом случае можно предусмотреть первичное дробление вскрышных пород, что позволит шире внедрить циклично-поточную технологию при формировании отвалов вскрышных пород.

По третьему типу отвал формируется в виде сооружения большой вместимости и необходимой формы. Это различного рода дамбы, плотины, дорожные насыпи и т.д.

Так как техногенные отходы складываются на земной поверхности, т.е. выше уровня грунтовых вод, то градиенты фильтрации в них существенно выше (от 1 в отвалах, до 2-3 в хвостохранилищах), чем в естественных условиях ($1 > 0,1$). Атмосферные осадки, особенно жидкая фаза пульпы хвостохранилищ, содержат значительно большее количество свободного кислорода и углекислого газа, чем грунтовые воды. Суммарное воздействие вышеназванных факторов способствует повышению в сотни и тысячи раз концентрации солей тяжелых металлов в подотвальных и фильтрующихся из хвостохранилищ водах по сравнению с концентрациями, характерными для грунтовых и поверхностных вод, формирующихся на естественных ландшафтах [Камруков А.С., Кострица В.Н., Багров В.В. и др., 2019].

Малоизученными факторами загрязнения подземных вод является загрязнение атмосферы и атмосферных осадков газодымовыми выбросами промышленных предприятий и автотранспорта.

Из различных источников известно, что в России ежегодно образуется

свыше 5 млрд.т отходов, около 99 % которых составляют отходы производства, или техногенные отходы [Волюнкина Е.П., 2017]. Основными отходообразующими отраслями экономики являются угольная промышленность и металлургия. В целом ежегодно направляется на размещение свыше 2 млрд.т отходов. Общее количество накопленных отходов по России это оценивается в 100 млрд.т.

Анализ и обобщение существующих методов утилизации крупнотоннажных минеральных отходов показали, что производство строительных материалов на основе техногенных минеральных отходов позволит продлить жизненный цикл материалов и изделий и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Так, например, в работе описан опыт использования техногенных отходов Байкальского региона (золы и микросфер золы, мраморной пыли, промышленного ПВХ отходы, а также мелкодисперсные слюдяные отходы — вермикулит). Установлено, что данные отходы по своим свойствам соответствуют критериям применимости их использования в производстве строительных изделий из биопозитивных полимерно-минеральных композиционных материалов (ВМРС) методом экструзии, тем самым снижая негативную техногенную нагрузку на окружающую среду региона, продлевая жизненный цикл строительных материалов [Mymrin at al, 2018].

В настоящее время в РФ в сфере переработки отходов развивается, главным образом, бизнес по переработке отходов упаковки. Главным препятствием на пути развития переработки техногенных отходов является отсутствие реальной государственной поддержки.

3.5 Техногенные отходы как источник новых месторождений сырья для получения зеленых композиционных материалов полифункционального назначения с уникальными свойствами

Крупнотоннажные отходы производства близки по своему химическому

составу к природным сырьевым материалам, что определяет перспективность использования этих отходов взамен первичных природных материалов при производстве строительных материалов. Однако производители строительных материалов в силу ряда причин недостаточно используют ресурсный потенциал отходов производства в технологиях получения строительных материалов, предпочитая первичное природное сырье. Это происходит в силу ряда социальных, экологических, экономических, технологических и иных причин и приводит к размещению не утилизируемых остатков отходов производства в объектах окружающей среды. В нашей стране за последнее десятилетие объем утилизируемых крупнотоннажных отходов производства составляет порядка 6–8 % от общего объема образования отходов, что существенно ниже показателей ряда зарубежных стран: Китай – 37 %, Западная Европа (Франция, Великобритания, Германия, Дания) – до 58 %, Северная Америка (США, Канада) – до 63 %, Япония – до 87 %. Такое большое отставание РФ от показателей утилизации отходов развитых стран указывает на системные ошибки в подходе к формированию условий обращения с отходами производства в стране в целом [Пугин К.Г., Пугина В.К., 2016].

Большая часть не утилизируемых твердых отходов производства, размещенных в окружающей среде, представлена многотоннажными отходами горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, шлаками черной и цветной металлургии, золами и шлаками ТЭС, работающих на угле и сланцах, отходами основной химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Отходы этих отраслей промышленности характеризуются высоким уровнем заложенного в них потенциала, вовлечение которого в ресурсный цикл производства строительных материалов позволило бы существенно сократить использование первичных природных материалов и вернуть в хозяйственный оборот обширные территории, занятые под размещение этих отходов [Пугин К.Г., Пугина В.К., 2016].

В России разработано более 300 различных технологий переработки золошлаков. По мнению специалистов, использование побочного продукта ТЭС

- золы, шлака, золошлаковой смеси, отходов металлургической промышленности в качестве добавок к цементу, в производстве бетонов, стеновых материалов позволит сократить потребление цемента на 50% от его годового объема, а при определенных условиях полностью заменять традиционные нерудные строительные материалы искусственными. Важно, что можно организовать производство изделий с минимальным расходом цемента, а при применении высококальциевых зол вовсе отказаться от цемента, значительно улучшить эксплуатационные свойства бетонов и увеличить их долговечность [Самусева М.Н., 2009].

Создание эффективных технологий переработки техногенного сырья, позволяющих получать из него конкурентоспособную продукцию для различных областей промышленности, является актуальной задачей. В данном направлении проводится большой объем исследований [Лыгина Т. З., 2017].

Вторичное использование местного техногенного сырья, загрязняющего окружающую среду и занимающую по всей стране огромные территории, пригодные для сельскохозяйственных нужд, позволяет решать ряд технологических, экологических и экономических вопросов. Практически в каждом регионе нашей страны имеются многотоннажные отвалы техногенного сырья различной природы – отходы деревообрабатывающей промышленности, золошлаковые смеси, отходы строительства, разборки зданий и сооружений и др. В Чеченской Республике в первую очередь распространены отходы разборки зданий и сооружений, которые в основном представляют собой бетонный, железобетонный лом и керамический кирпичный бой (ККБ). Процент указанного сырья от общего объема отходов строительства и сноса, как правило, составляет 60 % и более. Также в Чеченской Республике в результате многолетней деятельности Грозненских теплоэлектростанций ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, работавшие на твердом топливе, в большом количестве образованы отходы в виде золошлаковых смесей (ЗШС), отвалы которых в Заводском районе г. Грозный местами достигают 5-10 метров [Сайдумов М., Муртазаев С., Аласханов А., Дагин И., Нахаев М., 2019].

Золошлаковые отходы Грозненских ТЭЦ по своему химическому составу представлены в основном $\text{SiO}_2 = 55,36 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,31 \%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,01 \%$ и $\text{CaO} = 12,62 \%$. Потери при прокаливании (п.п.п.) у них довольно высокий (более 9 % по массе) из-за различных органических засоряющих включений в составе ЗШС. Золошлаковые смеси могут с успехом быть эффективно использованы в мелкозернистых и обычных бетонах, строительных растворах и как отечественный, так и мировой опыт их применения в строительстве это подтверждает. Средний химический состав ЗШС представлен в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - Химические составы продуктов дробления техногенного и некондиционного сырья для их использования в качестве минерального наполнителя (МН) для бетона

Химический состав	Вид сырья, из которого образован МН			
	Бетонный лом	ККБ	ЗШС	Кварцевые пески
SiO_2	52,80	53,68	55,36	81,46
Al_2O_3	5,03	15,28	10,31	6,82
Fe_2O_3	3,33	7,88	5,01	1,94
TiO_2	0,31	1,65	0,32	0,10
MgO	1,22	1,79	1,44	2,20
CaO	34,52	10,81	12,62	3,92
K_2O	1,31	2,60	1,49	-
Na_2O	0,51	1,31	1,72	-
SO_3	0,59	2,52	0,76	0,97
п.п.п.	0,11	0,08	9,12	1,22
Другие неорганические компоненты	0,27	2,36	1,85	1,37

Практически все техногенные отходы находят свое применение в составах композиционных материалов. Это не только способствует утилизации отходов и

снижению негативного воздействия на окружающую среду, но и позволяет сократить потребление первичных природных ресурсов.

Использование отходов в производстве строительных материалов открывает новые возможности для ресурсо- и энергосбережения, а также для уменьшения производственных затрат. В частности, технологии получения бетона и строительного раствора становятся более эффективными при включении таких отходов. Вопросами использования техногенных отходов в составах бетонов и растворов занимались такие именитые ученые как, Баженов Ю.М., Калашников В.И., Муртазаев С.-А.Ю., Лесовик В.С., Батаев Д.К.-С., Сайдумов М.С., Демьянова В. С., Ерофеев В.Т., Саламанова М.Ш., и др.

На данный момент существует огромное количество исследований, в которых научно подтверждается эффективность техногенных отходов как сырья для строительных материалов. Так, в работе Муртазаевой Т.С.-А. были получены высокопрочные бетоны на основе вторичного сырья, в виде кирпичного боя и бетонного лома, и техногенного сырья, в виде золошлаковых смесей. Полученные составы отличаются высокой прочностью (В60-В80), морозостойкостью (F300-F500) и водонепроницаемостью (W14 и выше) [Муртазаева Т.С.-А., 2018].

Другие ученые доказывают, что продукты техногенного генезиса не обязательно должны использоваться в традиционных бетонах на цементной вяжущем. В работе Саламановой М.Ш. такие техногенные отходы как кирпичный бой, аспирационная и клинкерная пыль, были успешно реализованы в составах бесклинкерных бетонов щелочной активации, которые по физико-механическим свойствам не уступают традиционным бетонам. Помимо этого, такие бетоны обладают низким углеродным следом. По примерной оценке, 56 кгCO_2 при производстве 1 м^3 бетона, в то время как традиционные бетоны обходятся выбросами в $300\text{-}400 \text{ кгCO}_2/\text{м}^3$ [Саламанова М.Ш., 2022].

Таким образом, в России, как и во всех развитых странах, накоплены огромные отвалы техногенной продукции, которые многими учеными настоящего времени рассматриваются как источники новых месторождений.

Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых доказано, что при рациональном подходе по утилизации техногенного сырья можно получать вторичные материалы, которые можно эффективно использовать как сырье для получения новых строительно-композиционных материалов с уникальными свойствами, достигая при этом не только технико-технологические результаты, но и эколого-экономические эффекты.

3.6 Исследование влияние химического и минералогического составов минеральных составляющих исходного сырья различной природы на состав новообразований, структуру и секвестрационный потенциал получаемого композита их основе

Климатические изменения превратились в одну из центральных тем обсуждения в XXI веке, поскольку их связывают с разнообразными экстремальными погодными явлениями и стихийными бедствиями. Рост числа мощных ураганов, масштабных наводнений и ускоренное таяние ледников, вызвавшее подъем уровня мирового океана, стали очевидными доказательствами влияния этих изменений. Люди по всему миру сталкиваются как с прямыми, так и с косвенными последствиями, которые негативно сказываются на их жизни и окружающей среде [Kulkarni A.R. 2018; Wasko C., 2021]. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, с доиндустриальной эпохи до наших дней средняя температура на нашей планете увеличилась примерно на 1,0 °C. При этом прогнозируется, что темпы потепления будут расти еще быстрее — примерно на 0,2 °C каждые десять лет, если сохранятся текущие тенденции глобального изменения климата. Известно, что главным фактором изменения климата являются парниковые газы, особенно углекислый газ (CO₂), выбрасываемые в атмосферу в результате человеческой деятельности [Navarro C., 2010].

В современном строительстве бетон остается наиболее востребованным материалом, с объемом мирового производства, достигающим порядка 30

миллиардов тонн в год. Прогнозы указывают на значительный рост глобального спроса на бетон в ближайшие десятилетия, особенно в развивающихся странах. Поскольку портландцемент является основным компонентом традиционного бетона, ожидается, что объем его производства будет увеличиваться пропорционально росту спроса на бетон. Согласно данным и Геологической службы США [USGS, 2021], производство цемента, по прогнозам, возрастет с 4,1 млрд тонн в 2020 году до 6,0 млрд тонн к 2050 году, что представляет собой увеличение примерно на 50% за три десятилетия. Процесс обжига, необходимый для производства цемента, требует нагрева смеси известняка и глины до температуры около 1450 °С, что достигается за счет сжигания ископаемого топлива. В результате производства одной тонны портландцемента в атмосферу выделяется почти одна тонна CO₂, что делает цементную промышленность одним из ключевых источников выбросов углекислого газа [Monteiro P. J., 2017]. Для уменьшения углеродного следа бетона необходимы комплексные и систематические меры, направленные на снижение выбросов CO₂ на всех этапах производства. Снижение углеродного следа бетона может быть обеспечено за счет увеличения его секвестрационного потенциала, который достигается за счет процесса карбонизации.

Ключевую роль в способности бетонных смесей связывать углерод играет вяжущий компонент. Именно он обеспечивает наличие реактивных веществ, необходимых для протекания процесса карбонизации, что делает его важным фактором в увеличении секвестрационного потенциала бетона. Согласно формуле Штейнура, оксиды, входящие в состав вяжущего материала бетона, обладают различной способностью к секвестрации углерода. Наибольший потенциал связывания углерода демонстрирует оксид натрия (Na₂O), за которым следуют оксид магния (MgO), оксид калия (K₂O) и оксид кальция (CaO). При этом некоторые оксиды, такие как кремнезем, являются инертными к карбонизации, тогда как другие, например, триоксид серы (SO₃), оказывают отрицательное влияние на углеродный потенциал.

В работе [A. Souto-Martinez, 2017] установили, что поглощение углерода

увеличивается с ростом концентрации CO_2 в атмосфере, хотя скорость этого процесса со временем снижается. Согласно разработанной модели, белый цемент показал наибольшее поглощение углерода — 116 кг/м^3 после 150 лет воздействия высокой концентрации CO_2 , превосходя портландцемент, который показал результат около 73 кг/м^3 .

Пуццоланы можно рассматривать как альтернативу частичной замены цемента, поскольку они могут реагировать с портландитом. Этот процесс также значительно повышает прочностные свойства бетона за счет измельчения и блокирования капиллярных пор [Hossain M. M., 2016]. В целях оценки карбонизации бетонных смесей, содержащих золу-унос, в работе [Zhang D., 2016] заменили 20% и 50% цемента золой-унос, здесь сообщается, что масса секвестрированного углерода в образцах цементного теста увеличивается с повышением дозы золы-унос. Эксперименты показали, что после 24 ч карбонизации смесь, приготовленная с 50% золой-унос, зафиксировала на 44% большее количество поглощения углерода, чем смесь, приготовленная только с портландцементом (рис. 3.8). Это наблюдение можно объяснить более высокой реакционной способностью золы с CO_2 .

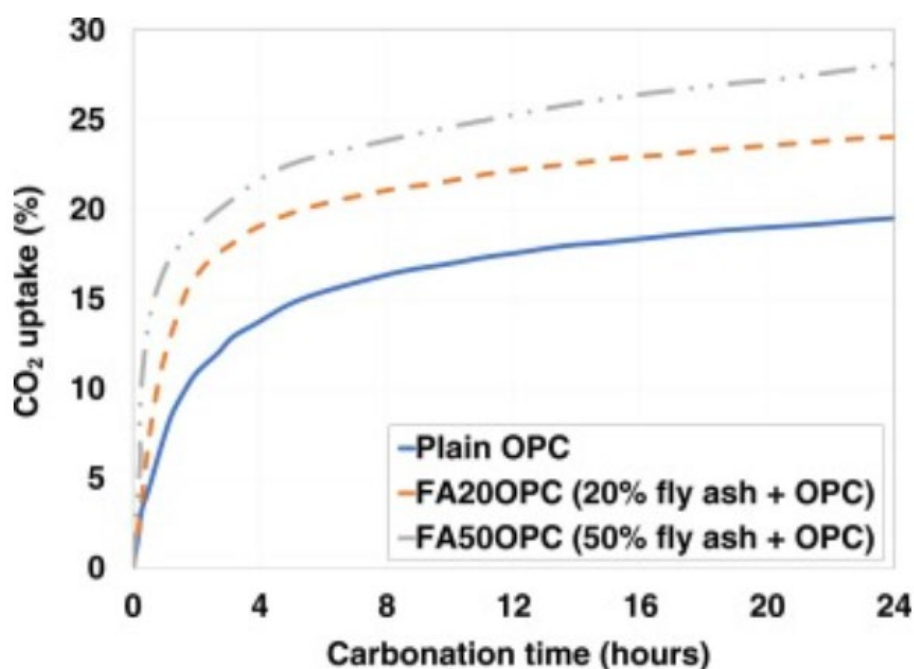


Рисунок 3.8 - Поглощение углерода образцами цементного камня с замещением 20% и 50% золой-унос.

В работе [Zhan B. J., 2016] проведено сравнительное изучение потенциала углеродного связывания смесей на основе золы-уноса и извести с портландцементом. Для эксперимента была приготовлена смесь с соотношением золы-уноса к извести 7:1. Образцы подвергались воздушному отверждению в течение 6 часов при относительной влажности 50% в климатической камере, после чего проводилась карбонизация в течение 2 часов в атмосфере чистого CO_2 при давлении 0,1 бар. Результаты эксперимента показали, что степень карбонизации смеси на основе золы-уноса и извести составила 78%, что существенно превышает показатель контрольной смеси из портландцемента, равный 32%. Такие результаты золы-унос и извести можно объяснить их более высокой удельной поверхностью, чем у портландцемента, что способствует усиленному взаимодействию с CO_2 .

Доменный шлак, являющийся побочным продуктом сталелитейной промышленности, представляет собой материал, содержащий преимущественно оксид кальция (45–60%), кремнезем (10–15%), глинозем (1–5%) и оксид железа (3–9%), которые формируют минералы C_2S , C_3S и C_4AF , аналогичные присутствующим в цементе. Кроме того, доменный шлак характеризуется значительным содержанием двухвалентных оксидов, таких как оксид железа (II) (FeO) (7–20%) и оксид магния (MgO) (3–13%), а также следовыми количествами оксида марганца (MnO). Доменный шлак не обладает пуццолановыми свойствами из-за кристаллической структуры содержащегося в нём кремнезема. Несмотря на наличие в его составе гидравлических минералов C_2S и C_3S , реакционная способность шлака в процессе гидратации остаётся низкой. Это связано с полиморфным превращением, происходящим в ходе медленного охлаждения, применяемого при производстве доменного шлака [Li L., 2022]. В то же время исследования [Ghouleh Z., 2015] показывают, что β -фаза C_2S способна участвовать в реакциях гидратации после продолжительного периода отверждения, тогда как γ -фаза проявляет реакционную способность при карбонизации.

Таким образом, установлено, что MgO в фазе RO взаимодействует с CO_2 ,

образуя $MgCO_3$. Эти свойства делают доменный шлак перспективным материалом для частичной замены традиционного портландцемента, что будет способствовать к снижению углеродного следа такого композита.

3.7 Разработка рабочей гипотезы о возможности получения интеллектуальных (зеленых) композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья

С целью теоретического и экспериментального обоснования рабочей гипотезы о возможности получения интеллектуальных (зеленых) композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья изучены научные труды и разработки ученых-исследователей Ю.М. Баженова, В.С. Демьяновой, С.С. Каприелова, В.С. Лесовика, Х.Н. Мажиева, Д.К.-С. Батаева, В.И. Калашникова, Г.В. Несветаева, О.Я. Берга, М.Н. Кокоева, Т.А. Хежева, Н.В. Fischer, F. Sybertz, R. Hardtl, R. Bornemann, S. Kordts и других ведущих материаловедов. Анализ научно-практического опыта обозначенных ученых показал, что производство эффективных бетонных композитов, отвечающих требованиям современного высотного строительства и экологической безопасности, возможно путем комплексного использования имеющейся местной (вторичной) сырьевой базы на основе междисциплинарного подхода, позволяющего получить и правильно оценить комплексный эффект (технологический, экологический, экономический и т.д.) получения экологически эффективных интеллектуальных (зеленых) композиционных материалов полифункционального назначения.

Имеющаяся сырьевая (природная, вторичная, некондиционная) база нашей страны действительно обладает значительным потенциалом для низкоуглеродного развития.

Использование интеллектуальных композитов полифункционального

назначения с углерододепонирующей способностью и комплексным использованием техногенного сырья позволит не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и улучшить эксплуатационные характеристики материалов, повысить их экономическую эффективность и способствовать инновационному развитию различных отраслей промышленности.

Использование вторичных и техногенных отходов позволяет существенно уменьшить выбросы углекислого газа и других парниковых газов на всех этапах жизненного цикла материалов. Также композиты могут депонировать углерод из атмосферы, что способствует улучшению климата экосистемы и снижению концентрации парниковых газов.

Выводы по 3-ей главе

1. Произведенный анализ энергоемкости, эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии показал, что путем применения комплексного подхода по внедрению умных систем энергопотребления и технологий вторичного использования техногенных продуктов в разы можно повысить эффективность строительных материалов и сделать их экологически эффективными без снижения основных технико-технологических показателей. Кроме того, анализ методов снижения углекислого газа при производстве строительных материалов показал, что минеральная карбонизация является одной из наиболее перспективных технологий для снижения выбросов CO_2 , вследствие того, что его использовании помимо самого снижения выбросов CO_2 допускает использование твердых отходов в процессе карбонизации для производства определенных продуктов с добавленной стоимостью.

2. Обозначены основные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки в технологии интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с низким

углеродным следом. Установлено, что внедрение новых биоматериалов (биоугля и других органических веществ), а также совершенствование существующих технологий (карбонизация, наномодификация и др.) позволяют сделать их более доступными и эффективными для использования в строительстве, ускоряют переход к низкоуглеродной строительной отрасли и, как следствие, снижают негативное воздействие их производства на окружающую среду. Отмечено, что технологией с высоким потенциалом для снижения углеродного следа строительства является способ получения бесклнкерных вяжущих, включая шлакощелочные, известково-шлаковые, известково-пуццолановые, известково-кремнеземистые, грунтоцементы, алюмосиликатные вяжущие и др., которые, как правило, представляют собой тонкоизмельченные порошки, состоящие из гидравлически активного компонента или щелочного активатора, где кардинальным отличием которых является полное или частичное отсутствие традиционного портландцемента, способствующего образованию до 90% углеродного следа.

3. Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022. Объектом исследования стали методы и средства разработки комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения. Патентный поиск проводился по ключевым словам и рубрикам МПК по странам: Россия, США, Япония, Китай, странам Европейского Сообщества. Просмотрено всего более 1000 патентных документов, детально проанализирован 41 патентный документ. В результате проведенного исследования патентной ситуации по объекту «Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения» установлено, что по данной тематике и схожими с ней за последние 10 лет подано и/или опубликовано не очень большое количество заявок. В тоже время существует огромное

количество научных статей по данной тематике, что говорит о преимущественно фундаментальном направлении исследований в этом направлении. При этом патентообладателями большинства имеющихся патентов по данной тематике являются коммерческие организации, университеты или отдельные граждане в России, Китае, США.

4. Исследована степень экологической нагрузки на окружающую среду от многотоннажных отвалов техногенной природы. Обозначено, что по данным различных источников, в России ежегодно образуется свыше 5 млрд.т отходов, около 99 % которых составляют отходы производства, или техногенные отходы. В целом ежегодно направляется на размещение свыше 2 млрд.т отходов. Общее количество накопленных отходов по России это оценивается в 100 млрд.т. Главным препятствием на пути развития переработки техногенных отходов является отсутствие реальной государственной поддержки – нужны законодательные меры, направленные на стимулирование процессов переработки отходов, вместо их захоронения, а также стандарты, по которым можно проектировать вторичные строительно-композиционные материалы из вторичных продуктов, методики для контроля качества такого продукта.

5. Обоснована возможность использования техногенных отходов как источника новых месторождений сырья для получения зеленых композиционных материалов полифункционального назначения с уникальными свойствами. Констатировано, что в России, как и во всех развитых странах, накоплены огромные отвалы техногенной продукции, которые многими учеными настоящего времени рассматриваются как источники новых месторождений. Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых доказано, что при рациональном подходе по утилизации техногенного сырья можно получать вторичные материалы, которые можно эффективно использовать как сырье для получения новых строительно-композиционных материалов с уникальными свойствами, достигая при этом не только технико-технологические результаты, но и эколого-экономические эффекты. При этом бетоны на техногенном сырье и специальных бесклнкерных

вяжущих обладают низким углеродным следом. По примерной оценке, 56 кгСО₂ при производстве 1м³ бетона, в то время как традиционные бетоны обходятся выбросами в 300-400 кгСО₂/ м³.

6. Исследовано влияние химического и минералогического составов минеральных составляющих исходного сырья различной природы на состав новообразований, структуру и секвестрационный потенциал получаемого композита их основе.

7. Разработана рабочая гипотеза о возможности получения интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья, базирующаяся на достижениях известных отечественных и зарубежных ученых – материаловедов.

4. РЕАЛИЗАЦИЯ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД И ВТОРИЧНОГО БЕТОНА

4.1 Общие сведения об особенностях получения мелкозернистых бетонов по безотходной технологии

Тема создания мелкозернистых бетонов с использованием отсеков дробления горных пород и бетонного лома является высокоактуальной, что подтверждается современными научными исследованиями и практикой в области ресурсосбережения и устойчивого развития строительной отрасли. Её значимость обусловлена комплексом экономических и экологических факторов.

Экономическая и экологическая целесообразность. Широкое использование промышленных отходов в производстве строительных материалов позволяет на 10-30% снизить затраты по сравнению с применением природного сырья, а экономия капитальных вложений достигает 35-50%. Ежегодно в России образуется около 16 млн тонн бетонного лома, а дробильно-сортировочные заводы производят значительное количество отсеков дробления. Переработка этих материалов во вторичный щебень или заполнитель для бетонов позволяет не только удешевить строительство, но и решить проблему истощения полигонов для захоронения, поскольку бетонный лом может занимать на свалках большие площади и естественным образом разрушается до ста лет.

Технологический потенциал и научный интерес. Исследования подтверждают, что использование отходов дробления и бетонного лома не только решает утилизационные задачи, но и позволяет получать качественные строительные материалы. Например, отсеки дробления после оптимального фракционирования могут полностью заменить природный песок в мелкозернистом бетоне, а пылевидные частицы в их составе способны вступать в химическое взаимодействие с цементом, повышая прочность цементного камня. Изучается возможность применения как рядовых, так и обогащенных

отсевок, а также их комбинаций с природным песком для достижения наилучших показателей прочности и морозостойкости бетона. Актуальность темы подчеркивается и тем, что она является предметом современных магистерских диссертаций, посвященных ресурсосберегающим технологиям.

Таким образом, разработка безотходных технологий производства мелкозернистых бетонов на основе отходов дробления и бетонного лома представляет собой перспективное направление, отвечающее принципам циркулярной экономики. Она позволяет снизить себестоимость строительства, уменьшить нагрузку на окружающую среду и решить проблему дефицита качественных природных заполнителей во многих регионах.

4.2 Создание мелкозернистых бетонов по безотходной технологии с утилизацией отсевок дробления горных пород и бетонного лома

Одной из важнейших проблем современной строительной индустрии является производство строительных композиционных материалов с использованием доступного, дешевого и невостребованного местного сырья, к которому, помимо природных ресурсов, можно отнести отходы производственных предприятий, а также техногенное сырье в виде отходов строительства и сноса (ОСС) зданий и сооружений [1,3].

Известно, что в России ежегодно образуется более 15 млн. тонн ОСС, 60 % которых составляют кирпичные, бетонные и железобетонные отходы, которые перерабатываются на специальных дробильно-сортировочных комплексах. Темпы роста объема указанных отходов составляют около 25 % в год.

Помимо ОСС общий объем отсевок дробления горных пород, образующихся ежегодно в стране на предприятиях добывающей и перерабатывающей промышленности, составляет в настоящее время до 50 млн. м³. Только в одной Чеченской Республике на предприятиях ГУП «Чеченкарьеруправление» и Департамента автомобильных дорог ЧР «Государственный унитарный комбинат дорожно-строительных материалов»

ежегодно перерабатывается более 1 млн. м³ горной породы в год с образованием до 300 тыс. м³ отходов камнедробления [2].

Перспектива вторичного использования отсевов камнедробления связана с тем, что при существующих технологиях процесс дробления и измельчения занимает около 50 % всех затрат, в первую очередь энергетических [4].

Однако, отсеvy находят малое применение в промышленности строительных материалов и залеживаются в отвалах на территории дробильно-сортировочных комплексов, повышая при этом запыленность воздуха из-за содержания в их составах так называемой каменной муки – частиц менее 0,16 мм в количестве до 30 %.

Анализ опыта использования отсевов камнедробления в технологии строительных материалов позволил сделать вывод о том, что существующие способы утилизации данного продукта дробления (очистка отсевов от пылевидных частиц; рассев песчаной составляющей на фракции и раздельное их применение; обогащение песчаной фракции отсевов; промывка отсевов и т.д.) связаны со значительными дополнительными трудовыми, материальными и энергетическими затратами, что резко ограничивает его применение в строительстве.

В связи с этим исключительно актуальным является разработка составов и способов производства цементных композитов с использованием данного техногенного сырья и специальных добавок без выполнения вышеперечисленных технологических операций.

Для решения указанной задачи, в первую очередь, предложен метод раздельного перемешивания составляющих бетонной смеси с целью механоактивации поверхностей зерен заполнителя из отсевов дробления (ОД), заключающийся в следующем. В лабораторном малогабаритном бетоносмесителе сначала перемешивали дозированное количество заполнителя из отсевов дробления и необходимое по расчету количество воды затворения в течение одной минуты. Затем согласно требуемой дозировке добавляли вяжущее. Полученную бетонную смесь повторно перемешивали в течение одной

минуты.

Результаты исследований показали, что раздельное перемешивание компонентов бетонной смеси позволяет улучшить показатель прочности мелкозернистых бетонов в возрасте 28 суток до 25 % с получением классов В10-В15 при составах Ц:ОД = 1:3 и 1:4 (табл. 4.1).

При этом эффект механоактивации тем выше, чем больше пылевидной фракции в бетонной смеси, что объясняется тем, что в процессе перемешивания смеси отсеков дробления и воды тонкодисперсные частицы включаются в жидкую фазу и образуют взвеси в виде агрегативно устойчивых систем (рис. 4.1). Тонкодисперсные частицы в таких условиях осаждаются на твердых поверхностях заполнителя очень медленно.

Таблица 4.1 - Влияние способов механоактивации бетонной смеси и поверхности заполнителя на прочность мелкозернистых бетонов на необогащенном заполнителе

№ п/п	Заполнитель из ОД	Состав Ц:ОД	В/Ц	R _{сж} бетона без механоактивации, МПа	R _{сж} бетона при раздельном перемешивании и компонентов, МПа	Приращение прочности за счет раздельного перемешивания, %	R _{сж} бетона при поливибрационном уплотнении смеси, МПа	Суммарное прирост прочности за счет механоактивации смеси, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	бетонного лома	1:2	0,392	25,1	28,1	12	34,9	39
2		1:3	0,455	17,5	21,5	23	25,8	47
3		1:4	0,488	12,4	15,4	24	19,0	53
4	песчаника	1:2	0,482	21,8	24,2	11	30,5	40
5		1:3	0,578	16,6	20,6	24	23,6	42
6		1:4	0,628	10,6	13,0	23	15,8	49
7	известняка	1:2	0,396	23,8	25,7	8	33,9	42
8		1:3	0,453	17,3	19,9	15	24,7	43
9		1:4	0,485	11,3	12,5	11	16,5	46

После повторного перемешивания бетонной смеси с добавлением в систему цемента его частицы также переходят во взвешенное состояние.

При этом частицы отсеков распределяются между частицами вяжущего, т.е.

зерна заполнителя обволакиваются цементной гелью с равномерно распределенными в нем частицами пыли.

Таким образом, тонкодисперсные частицы из отсевов дробления заключаются в цементную матрицу без образования ими прослоек на границе раздела «цементный камень–заполнитель», что в противном случае привело бы к снижению прочности бетона.

Наряду с двухстадийным перемешиванием составляющих бетонной смеси весьма эффективным оказался метод поличастотного виброуплотнения, согласно которому бетонная смесь более эффективно уплотняется за счет воздействия дополнительного вибровозбудителя с частотой колебаний 133 Гц, притом, что у основного вибратора этот показатель составляет 48 Гц.

С целью определения эффекта поливибрационного уплотнения бетонной смеси была изготовлена виброустановка на базе лабораторной виброплощадки с устройством дополнительного вибровозбудителя. Создание давления на бетонную смесь не предусматривалось.

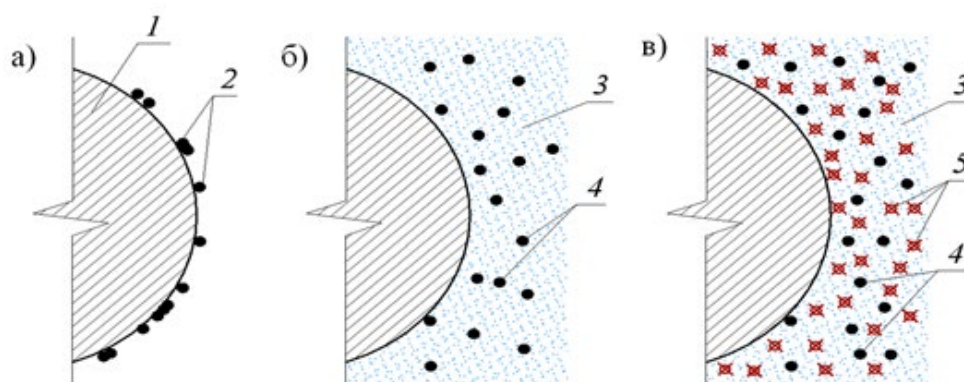


Рисунок 4.1 – Эффект механоактивации бетонной смеси при раздельном перемешивании ее компонентов: а – поверхность заполнителя до перемешивания с водой; б – то же, после перемешивания с водой; в – то же, при повторном перемешивании с цементом; 1 – зерна заполнителя; 2 – пылевидные частицы на поверхности заполнителя из отсевов; 3 – водная среда; 4 – взвеси (пылевидные частицы); 5 – частицы цемента

Из бетонных смесей на основе необогащенных отсеков, приготовленных отдельным перемешиванием компонентов, приготавливались опытные образцы-кубы с ребром 10 см, которые уплотнялись на поливибрационной установке.

При этом помимо воздействия лабораторной виброплощадки со своим вибровозбудителем, создающим частоту колебаний около 2900 кол/мин (48 Гц) при амплитуде (А) 0,5 мм, на бетонную смесь сверху воздействует дополнительно сконструированный вибровозбудитель, который создает более высокую частоту колебаний – до 8000 кол/мин (133 Гц) при амплитуде 0,35 мм. Образцы уплотнялись таким образом в течение 40 - 50 с.

Результаты испытания образцов показали, что отдельное перемешивание компонентов с поличастотным виброуплотнением полученной бетонной смеси позволяет повысить прочностные показатели мелкозернистых бетонов до 56 % с получением классов В20-В27,5 при составах 1:2, 1:3 и 1:4 (см. табл. 4.1).

Изучение структуры мелкозернистых бетонов на основе отсеков камнедробления, полученных с использованием предлагаемых методов механоактивации бетонной смеси и поверхности заполнителя, показало, что уменьшается их водопоглощение до 3-7 %, структура характеризуется достаточно мелкими и однородными по размеру порами.

Таким образом, предложены научно-обоснованные способы получения мелкозернистых бетонов с использованием необогащенных и нефракционированных отсеков дробления бетонного лома и горных пород, позволяющие, используя специальные способы механоактивации бетонной смеси и поверхности заполнителя, улучшить их физико-механические и эксплуатационные свойства.

5. ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ГРОЗНЕНСКОЙ ТЭЦ

5.1 Принципы проектирования строительных материалов с применением золошлаковых смесей

Принципы проектирования строительных материалов с применением золошлаковых смесей (ЗШС) кардинально отличаются от подхода к традиционным материалам и основываются на необходимости учитывать нестабильность и переменчивость самого сырья.

Ключевой идеей является переход от концепции «отхода» к концепции «техногенного сырья с определенными свойствами». Это означает, что проектирование начинается не с выбора рецептуры, а с тщательного изучения конкретной партии ЗШС. Первым и фундаментальным принципом выступает принцип обязательной предварительной диагностики и паспортизации золошлаков. Поскольку состав и свойства ЗШС зависят от типа сжигаемого топлива, технологии сжигания и системы золоулавливания, они могут значительно варьироваться даже в пределах одной ТЭЦ. Поэтому перед проектированием проводится полный физико-химический анализ: определяется гранулометрический и химический состав, содержание несгоревшего остатка, наличие стеклофазы, щелочей, сульфатов, что позволяет классифицировать золу как активную минеральную добавку или как инертный заполнитель.

На основе данных диагностики реализуется принцип функционального назначения золы в составе материала. Зола не является простым наполнителем; её роль определяется её свойствами. Если зола обладает высокой пуццолановой активностью (содержит реакционноспособный оксид кремния и оксид алюминия), её используют как частичный заменитель цемента, что позволяет снизить расход вяжущего и тепловыделение при твердении, а также повысить долговременную прочность и сульфатостойкость бетона. Если же зола инертна или имеет крупную фракцию, её применяют в качестве мелкого заполнителя,

заменяя природный песок, что способствует решению ресурсосберегающих задач.

Следующим важным принципом является принцип синергетического подхода к составу композиции. Золошлаковые смеси редко используются изолированно. Для достижения требуемых эксплуатационных характеристик их часто комбинируют с другими техногенными продуктами, например, с микрокремнеземом или суперпластификаторами. Это позволяет нивелировать возможные негативные эффекты, такие как повышенное водопотребование из-за неоптимальной формы частиц золы, и создать материал с заданными свойствами. Например, для производства силикатного кирпича или газобетона принципиальным является принцип активации процессов структурообразования. Поскольку золы-уноса часто имеют сферическую форму, они могут улучшать формовочные свойства смеси, а их химический состав служит основой для синтеза гидросиликатов кальция в процессе автоклавной обработки, обеспечивая получение высокой прочности.

Наконец, проектирование всегда подчиняется принципу обеспечения долговечности и экологической безопасности. Разрабатываемый материал должен не только отвечать стандартам прочности, но и гарантировать стабильность своих свойств в течение длительного времени. Это требует оценки возможных деструктивных процессов, таких как коррозия арматуры в железобетоне из-за повышенного содержания щелочей или сульфатов в золе. Кроме того, обязательной является проверка на отсутствие миграции токсичных элементов из готового материала в окружающую среду, что подтверждает его безопасность для применения в строительстве. Таким образом, проектирование на основе ЗШС — это комплексный процесс, направленный на создание не только эффективного, но и надежного, экологически чистого строительного материала.

5.2 Создание строительных материалов из золы и шлака Грозненской ТЭЦ

Среди промышленных отходов первое место по объемам занимают золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива на ТЭС. Огромные количества золошлаковой смеси скопились в отвалах, занимающих значительные площади земель. Содержание золошлаковых отвалов требует значительных затрат и вложений. В то же время золы и шлаки ТЭС можно эффективно использовать в сельском хозяйстве, в производстве различных строительных материалов, что подтверждается многочисленными научными исследованиями и практическим опытом. В частности, одним из перспективных методов использования золошлаковых отходов, является их использование в строительных растворах и бетонах.



Рисунок 5.1 - Отвалы золошлаковых отходов с ТЭЦ-2 г. Грозного

В настоящее время в Чеченской Республике накоплены огромные объемы золошлаковых отвалов, скопившихся за годы работы ТЭС. Они занимают значительные площади земель, пригодных для промышленной застройки, способствуют загрязнению воздушного и водного бассейнов и изменению химико-минерального состава почв и грунтовых вод.

Для использования золошлаковых отходов в строительных композитах необходимо провести тщательный отбор проб с отвалов золошлаковых отходов

и в лабораторных условиях определить их физико-химические свойства.

На основании этих данных разрабатываются методы переработки золошлаковой смеси и способы получения строительных композитов на их основе.

Известно, что для ремонтно-восстановительных работ, проводимых в Чеченской республике, и возведения монолитных зданий и сооружений требуется большое количество строительных растворов различного назначения. Наряду с этим, накоплено огромное количество отходов энергетической промышленности в виде золошлаковых смесей, которые могут быть эффективно использованы в производстве строительных растворов.

Исследование состава и физико – химических свойств золошлаковых смесей позволило разработать методику получения органоминеральной добавки на основе золошлаковой смеси для строительных растворов.

Строительные растворы имеют свою специфику, которая порождает противоречия в предъявляемых к ним требованиях: повышенной удобоукладываемости, водоудерживающей способности, жизнеспособности, требующих значительного расхода вяжущих, и невысокой прочности, требующей пониженный расход вяжущих. Это положение усугубляется еще и увеличением производства высокомарочных цементов марок М400 и М500. Исходя из этого, для получения строительных растворов с широким диапазоном свойства растворных смесей регулируются варьированием уровня расхода цемента по отношению к заполнителям в соотношении от 1:2,5 до 1:10.

Широко распространенные низкомарочные растворы (составы 1:6...1:10,) имеют высокопористую структуру вследствие дефицита цементного теста, необходимого для обмазки зерен заполнителя, что ведет к понижению подвижности, водоудерживающей способности, жизнеспособности и стойкости.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что для любого заполнителя соотношение вяжущее: заполнитель=1:2,33 по абсолютному объему всегда обеспечивает получение раствора слитного строения. Тем не менее, это ведет к перерасходу цемента, что не только не выгодно с экономической точки

зрения, но и нецелесообразно с технической позиции, так как жирные растворы обладают повышенной усадкой, значительными деформациями, быстро теряют необходимую для работы подвижность и расслаиваются. Введение в строительный раствор органоминеральной добавки обеспечит не только слитную структуру с учетом количества цемента, но и заданную марку раствора. Слитность структуры раствора должна обеспечить как его технологические, так и эксплуатационные свойства.

Таким образом, эффективным использованием золошлаковых смесей в качестве наполнителя для строительных растворов может стать организация производства органоминеральной добавки (ОМД), получаемой помолем золошлаковых смесей с суперпластификатором. ОМД может поставляться потребителю отдельно как добавка к цементам и растворам, а также как в виде сухой строительной смеси. Механохимическая активация золошлаковой смеси позволит повысить активность и однородность свойств наполнителя, а ПАВ позволит предотвратить агрегацию частиц наполнителя, снизит водопотребность и обеспечит стабилизацию свойств при хранении.

Помол ОМД осуществлялся в лабораторной вибромельнице СВМ-2 до удельной поверхности от 100 до 900 м²/кг. Исследование свойств цементных паст, разбавленных полученными органоминеральными добавками, показало, что оптимальная их удельная поверхность должна составлять 450-500 м²/кг.

Химические и минеральные добавок, входящие в состав портландцемента, приводят к изменению механизма и скорости протекания реакций взаимодействия клинкерных минералов цемента с водой. Минеральные добавки могут вступать во взаимодействие с новообразованиями цементного камня с последующим образованием новых фаз, которые оказывают различное влияние на свойства затвердевшего цементного камня. Для исследования этих процессов было изучено влияние органоминеральной добавки на процессы гидратации цементного камня с помощью методов ДТА и РФА. Проведённые исследования доказали, что, при длительном твердении смешанных вяжущих, содержащих

минеральный наполнитель в виде золошлаковой смеси, в основном образуется скрытокристаллическая структура низкоосновных гидросиликатов кальция типа С-S-H и гидроалюминатов кальция.

Органоминеральная добавка (ОМД), получаемая в результате механохимической обработки золошлаковой смеси в присутствии суперпластификатора, используется в производстве строительных растворов марок М25...М200. В данном случае к органоминеральным добавкам необходимо применить следующие требования: размеры агломерата должны быть не более 5 мм, а влажность по массе - от 3 до 10%. Приготовление ОМД включает следующие операции: складирование исходных компонентов, сушку, помол до удельной поверхности 450-500 м²/кг и подачу ОМД в бункер готовой продукции. Каждая партия должна сопровождаться паспортом с указанием: наименования, вида, влажности, назначения ОМД. Для определения физико-механических свойств ОМД отбирают пробу, состоящую из 10 частей, взятых из разных мест партии. Масса каждой части должна быть не менее 1 кг. Составленную из частей пробу сокращают методом квартования до 1 кг. Упаковку ОМД производят в полиэтиленовые или бумажные мешки. В процессе производства осуществляют контроль температуры, остаточной влажности и тонкости помола.

ОМД получаемая из золошлаковых отходов экологически безвредна для рабочих, при соблюдении общепринятых норм безопасности в строительстве, задействованных в производстве.

Для оптимизации составов строительных растворов различных марок с органоминеральными добавками были проведены исследования.

В справочной литературе имеются рекомендации по ориентировочному расходу цемента для различных марок строительных растворов (табл. 5.1).

Однако такое количество цемента обеспечивает только требуемую прочность строительного раствора. При этом не обеспечиваются такие важные свойства как пластичность, жизнеспособность, водоудерживающая способность. Эти свойства могут быть обеспечены только в литых структурах растворов. Литая структура раствора, т.е. когда цементного теста хватает для заполнения

пустот в заполнителе, обеспечивается при расходе цемента около 600 кг/м³. Таким образом, все марки строительного раствора не имеют слитную структуру.

Таблица 5.1 - Ориентировочный расход вяжущего для строительных растворов

Рекомендованная марка ПЦ		Вяжущее					
		ПЦ, ШПЦ		ППЦ и их разновидности			
		40, 50	30,40, 50	30, 40, 50	20, 30, 40, 50	20, 30,40	20,30
Марка раствора, МПа		20	15	10	7,5	5	2,5
Расход вяжущего, кг	на 1 м ³ раствора	410	330	245	195,240,	175	135
		490	400	300	310,345	225	190
			510	385		325	
	на 1 м ³ песка	360	280	205	160,200,	140	105
		450	350	255	270,405	185	155
			470	340		280	

Слитность структуры строительного раствора любой марки осуществляли введением органоминеральной добавки. При этом доля органоминеральной добавки (Н) рассчитывали по формуле:

$$H = 0,082 M - 0,00333 M^2 - 0,12667,$$

где, М - марка строительного раствора, МПа

С помощью метода математического планирования эксперимента был установлен расход воды затворения. Были выбраны следующие факторы: подвижность (П) строительных растворов, расход С-3 (С) и расход ОМД (М).

В результате обработки полученных данных было получено уравнение водопотребности растворных смесей

$$B = 24 + 11П - 303 С + 2,1М - 0,5 П^2 + 149С^2 + 0,0064М^2 - 2,7ПС - 0,6 СМ$$

Ниже приводится пример исследования составов строительных растворов с подвижностью 4 см и расходом С-3 = 0,5% от массы цемента, которые должны были обеспечить марки М50...М200 при использовании портландцемента марки М400. В табл. 5.2 представлены составы строительных растворов.

Таблица 5.2 - Характеристика составов

№	Доля цемента	Доля ОМД	Расход Ц, кг/м ³	Масса ОМД, кг/м ³	Объем ОМД, %	Расход воды, кг/м ³	Расход песка, кг/м ³
1	0,80	0,20	400	74	32	250	1528
2	0,64	0,36	320	133	58	270	1478
3	0,56	0,44	280	166	72	280	1450
4	0,48	0,52	240	193	84	288	1431
5	0,40	0,60	200	223	97	297	1408

Были изготовлены образцы-кубы с ребром 7,07 см. После 28 суток хранения в естественных условиях образцы испытали на прочность, вододерживающую и жизнеспособность. Результаты представлены в табл. 5.3.

Таблиц 5.3 - Свойства строительных растворов с органоминеральной добавкой

№ составов из предыд. табл.	Прочность, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Жизнеспособность, ч	Вододерживающая способность, %
1	20,0	2200	6	96,8
2	15,0	2100	6	97,5
3	10,0	2000	6	97,5
4	7,5	2000	6	98,0
5	5,0	1980	6	98,0

Таким образом, на основании проведенных лабораторных исследований, обоснована возможность использования золошлаковой смеси в виде органоминеральной добавки, введение которой в строительные растворы с требуемым расходом цемента, обеспечивает не только слитную структуру раствора, но и заданную прочность и технологические свойства.

Также перспективным является использование разработанной ОМД на

основе золошлаковой смеси в строительных бетонах, сухих строительных смесях и дорожных покрытиях (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 - Производство мелкозернистого бетона с ОМД

Экономическая и экологическая значимость такого подхода к использованию золошлаковых отходов позволяет значительно улучшить экологическую обстановку в республике, высвободить значительные земельные территории и эффективно использовать золошлаковые смеси в производстве строительных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа всего вышепредставленного материала можно констатировать следующие выводы:

1. С целью выбора и обоснования оптимального варианта направления экспериментальных и теоретических работ разработан план их проведения. Достоверность представленного плана обоснована проведением анализа современных подходов и представлений получения новых строительных композиционных материалов с низким углеродным следом, в том числе получаемых с применением вторичного сырья из техногенных отходов. Установлено, что сокращение выбросов углекислого газа при производстве низкоуглеродистых бетонов происходит в результате либо замены части цемента другими видами вяжущих или специальных наполнителей, обеспечивающих сохранение или улучшение основных параметров структуры строительного материала, либо за счет технологий, способствующих сокращению клинкерной доли вяжущего с сохранением заданных свойств бетона.

2. С учётом приоритетных направлений развития науки и технологий, а также значимости проведения дальнейших исследований для успешной реализации проекта произведен выбор научного оборудования и приборов для развития молодежной лаборатории.

3. Произведен анализ факторов различной природы, влияющие на экологическую обстановку в регионе. Исследованы природные условия и ландшафты, а также геоэкологическая обстановка на территории Чеченской Республики. Изучение вопросов урбанистики и основных эффективных стратегий в управлении отходами показал важность комплексного подхода к управлению городским развитием, который должен учитывать, как экономические, так и экологические аспекты, поскольку результаты исследований показывают разрозненные модели городского роста, соответствующие разным административным единицам, даже при реализации одного и того же плана. Комплексное планирование и внедрение устойчивых

практик, нацеленных на разработку и внедрение технологий рециклинга (повторного применения) техногенных отходов, будут способствовать снижению негативных последствий разрастания городов и созданию более устойчивой городской среды со значительно меньшим эмиссионным в плане углеродных выбросов эффектом;

4. Исследовано влияние урбанизации на эмиссию парниковых газов. Установлено, что степень влияния зависит от многих факторов, таких как плотность, экономический рост, технологический прогресс и количество потребляемой энергии;

5. Произведенный анализ энергоемкости, эмиссионного и секвестрационного потенциала предприятий стройиндустрии показал, что путем применения комплексного подхода по внедрению умных систем энергопотребления и технологий вторичного использования техногенных продуктов в разы можно повысить эффективность строительных материалов и сделать их экологически эффективными без снижения основных технико-технологических показателей. Кроме того, анализ методов снижения углекислого газа при производстве строительных материалов показал, что минеральная карбонизация является одной из наиболее перспективных технологий для снижения выбросов CO₂, вследствие того, что его использовании помимо самого снижения выбросов CO₂ допускает использование твердых отходов в процессе карбонизации для производства определенных продуктов с добавленной стоимостью;

6. Анализ методов снижения углекислого газа при производстве строительных материалов показывает, что минеральная карбонизация является одной из наиболее перспективных технологий для снижения выбросов CO₂. Этот процесс имеет двойную выгоду: снижение выбросов CO₂ и использование твердых отходов в процессе карбонизации для производства определенных продуктов с добавленной стоимостью. В настоящее время строительные продукты, полученные из отходов, являются конкурентоспособными по цене на рынке. Ведущие строительные компании успешно производят эффективные

материалы из различных отходов промышленности путем минеральной карбонизации. Искусственные заполнители полностью заменяют использование натурального камня в различных строительных применениях, что дополнительно способствует эффективному ресурсосбережению;

7. Обозначены основные современные методы и технологические приемы, направленные на улучшение экологической обстановки, в технологии интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с низким углеродным следом. Установлено, что внедрение новых биоматериалов (биоугля и других органических веществ), а также совершенствование существующих технологий (карбонизация, наномодификация и др.) позволяют сделать их более доступными и эффективными для использования в строительстве, ускоряют переход к низкоуглеродной строительной отрасли и, как следствие, снижают негативное воздействие их производства на окружающую среду. Отмечено, что технологией с высоким потенциалом для снижения углеродного следа строительства является способ получения бесклинкерных вяжущих, включая шлакощелочные, известково-шлаковые, известково-пуццолановые, известково-кремнеземистые, грунтоцементы, алюмосиликатные вяжущие и др., которые, как правило, представляют собой тонкоизмельченные порошки, состоящие из гидравлически активного компонента или щелочного активатора, где кардинальным отличием которых является полное или частичное отсутствие традиционного портландцемента, способствующего образованию до 90% углеродного следа;

8. Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022. Объектом исследования стали методы и средства разработки комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения. Патентный поиск проводился по ключевым словам и рубрикам МПК по странам: Россия, США, Япония, Китай, странам Европейского Сообщества. Просмотрено всего более 1000 патентных документов, детально проанализирован 41

патентный документ. В результате проведенного исследования патентной ситуации по объекту «Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения» установлено, что по данной тематике и схожими с ней за последние 10 лет подано и/или опубликовано не очень большое количество заявок. В тоже время существует огромное количество научных статей по данной тематике, что говорит о преимущественно фундаментальном направлении исследований в этом направлении. При этом патентообладателями большинства имеющихся патентов по данной тематике являются коммерческие организации, университеты или отдельные граждане в России, Китае, США;

9. Исследована степень экологической нагрузки на окружающую среду от многотоннажных отвалов техногенной природы. Обозначено, что по данным различных источников, в России ежегодно образуется свыше 5 млрд.т отходов, около 99 % которых составляют отходы производства, или техногенные отходы. В целом ежегодно направляется на размещение свыше 2 млрд.т отходов. Общее количество накопленных отходов по России это оценивается в 100 млрд.т. Главным препятствием на пути развития переработки техногенных отходов является отсутствие реальной государственной поддержки – нужны законодательные меры, направленные на стимулирование процессов переработки отходов, вместо их захоронения, а также стандарты, по которым можно проектировать вторичные строительно-композиционные материалы из вторичных продуктов, методики для контроля качества такого продукта;

10. Обоснована возможность использования техногенных отходов как источника новых месторождений сырья для получения зеленых композиционных материалов полифункционального назначения с уникальными свойствами. Констатировано, что в России, как и во всех развитых странах, накоплены огромные отвалы техногенной продукции, которые многими учеными настоящего времени рассматриваются как источники новых

месторождений. Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых доказано, что при рациональном подходе по утилизации техногенного сырья можно получать вторичные материалы, которые можно эффективно использовать как сырье для получения новых строительно-композиционных материалов с уникальными свойствами, достигая при этом не только технико-технологические результаты, но и эколого-экономические эффекты. При этом бетоны на техногенном сырье и специальных бесклнкерных вяжущих обладают низким углеродным следом. По примерной оценке, 56 кгCO₂ при производстве 1м³ бетона, в то время как традиционные бетоны обходятся выбросами в 300-400 кгCO₂/ м³;

11. Доказано, что на заполнителях, полученных при утилизации техногенного сырья в виде разборки зданий и сооружений, возможно получение широко распространенных бетонов классов В15-В20 как для ремонтно-восстановительных работ, так и для капитального строительства. Эти исследования дают основу для оптимизации бетонов и прогнозирования их эксплуатационных свойств;

12. Разработана рабочая гипотеза о возможности получения интеллектуальных композиционных материалов полифункционального назначения с углерододепонирующей способностью с комплексным использованием техногенного сырья, базирующаяся на достижениях известных отечественных и зарубежных ученых – материаловедов;

13. Предложены научно-обоснованные способы получения мелкозернистых бетонов с использованием необогащенных и нефракционированных отсеков дробления бетонного лома и горных пород, позволяющие, используя специальные способы механоактивации бетонной смеси и поверхности заполнителя, улучшить их физико-механические и эксплуатационные свойства;

14. На основании проведенных лабораторных исследований обоснована возможность использования техногенного сырья в виде тонкомолотой органоминеральной добавки, введение которой в строительные растворы и бетоны с требуемым расходом цемента обеспечивает не только слитную

структуру композита, заданную прочность и технологические свойства, но способствует решению эколого-материаловедческих проблем получения строительных композитов, в том числе вопросы низкоуглеродного развития данного направления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A mathematical model for predicting the carbon sequestration potential of ordinary portland cement (OPC) concrete / A. Souto-Martinez, E. A. Delesky, K. E. O. Foster, W. V. Srubar // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Т. 147. – С. 417-427.
2. Adams S, Boateng E, Acheampong AO. Transport energy consumption and environmental quality: Does urbanization matter? *Sci Total Environ*. 2020 Nov 20;744:140617. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140617. Epub 2020 Jul 4. PMID: 32712414.
3. Adibee N., Osanloo M., Rahmanpour M. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management. *Environmental Earth Sciences*. 2013. Vol. 70, pp. 1581–1592.
4. Air quality benefits of achieving carbon neutrality in China / X. Shi, Y. Zheng, Y. Lei [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2021. – Vol. 795. – P. 148784.
5. Andrew R.M. Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2018. *Earth Syst. Sci*. 2019. No 11 (4), pp.1675–1710. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.
6. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement Concr. Res*. 2012. No 42 (12), pp. 1579–1589.
7. Anwar A, Younis M, Ullah I. Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Apr 7;17(7):2531. doi: 10.3390/ijerph17072531. PMID: 32272745; PMCID: PMC7177941.
8. Application potential analysis of biochar as a carbon capture material in cementitious composites: A review / Ju. Liu, G. Liu, W. Zhang [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 350. – P. 128715. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.128715. – EDN YSWUDP.
9. Binjie Tang, Huanyu Wu, Yu-Fei Wu. Evaluation of the carbon reduction

benefits of adopting the compression cast technology in concrete components production based on LCA. *Resources, Conservation & Recycling*. 2024. No 208. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107733>.

10. Challenges towards carbon dioxide emissions peak under in-depth socioeconomic transition in China: Insights from Shanghai / S. Liu, X. Tian, Y. Xiong [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 247. – P. 119083.

11. Churkina, Galina. (2016). The Role of Urbanization in the Global Carbon Cycle. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3. 10.3389/fevo.2015.00144.

I. D. Menzori, I. C. Nunes de Sousa, L. M. Gonçalves. Urban growth management and territorial governance approaches: A master plans conformance analysis. *Land Use Policy*. 2021. Vol.105. 105436.

12. Durability of mortar and concrete made up of pozzolans as a partial replacement of cement: A review / M. M. Hossain, M. R. Karim, M. Hasan [и др.] // *Construction and Building Materials*. – 2016. – T. 116. – C. 128-140.

13. Fadi A., Wajahat S.A., Muhammad S., Ahmed F.D. Advancements in low-carbon concrete as a construction material for the sustainable built environment. *Developments in the Built Environment*. 2023. No 16. pp. 100284.

14. Ghoulé Z. High-strength KOBM steel slag binder activated by carbonation / Z. Ghoulé, R. I. L. Guthrie, Y. Shao // *Construction and Building Materials*. – 2015. – T. 99. – C. 175-183.

15. Guo Y., Luo L., Liu T., Hao L., Li Y., Liu P., Zhu T. A review of low-carbon technologies and projects for the global cement industry. *J. Environ. Sci*. 2023. N 136, pp.682–697.

16. Hajduczek, M., and Stefaniuk, D. (2023). Carbonation Before Curing: A New Path to Concrete Sustainability. *Research Brief*. Volume 2023, Issue 2.

17. Heil M. T. Inequality in CO₂ emissions between poor and rich countries / M. T. Heil, Q. T. Wodon // *Journal of Environment and Development*. – 1997. – T. 6. – № 4. – C. 426-452.

18. Hosam Elhegazy, Jiansong Zhang, Omar Amoudi, Joliviana Nashaat Zaki, Mohamed Yahia, Mohamed Eid, and Ibrahim Mahdi. An Exploratory Study on the

Impact of the Construction Industry on Climate Change. Journal of Industrial Integration and Management. 2023. <https://doi.org/10.1142/S2424862222500282>

19. <https://www.dezeen.com/2022/07/29/algae-grown-limestone-route-carbon-negative-concrete-architecture-news/>

20. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

21. Ipek M., Yilmaz K., Sümer M., Saribiyik M., 2011. Effect of pre-setting pressure applied to mechanical behaviours of reactive powder concrete during setting phase. Constr. Build. Mater. No 25, pp. 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.056>.

22. Ipek M., Yilmaz K., Uysal M., The effect of pre-setting pressure applied flexural strength and fracture toughness of reactive powder concrete during the setting phase. Constr. Build. Mater. 2012. No 26, pp. 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.045>.

23. Ke En Lai a, Nafisah Abdul Rahiman a, Norazam Othman a, Kherun Nita Ali a, Yaik Wah Lim a, Farzaneh Moayedi b, Mohd Azwarie Mat Dzahir a. Quantification process of carbon emissions in the construction industry. Energy and Buildings. Vol. 289. 2023. 113025. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113025>

24. Kulkarni A. R. Impact of Extreme Events on Transportation Infrastructure in Iowa: A Bayesian Network Approach / A. R. Kulkarni, B. Shafei // Transportation Research Record. – 2018. – T. 2672. – № 48. – C. 45-57.

25. Kumanayake R, Luo H (2018) Life cycle carbon emission assessment of a multi-purpose university building: a case study of Sri Lanka. Front Eng Manag. <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2018055>

26. Kuzina O. Implementation of energy-saving innovations as the main direction

of development of the building materials industry // *Baltic Journal of Real Estate Economics and Construction Management*. №3. 2015.-C.36-44. doi: 10.1515/bjreecm-2015-0005.

27. Leemann, Andreas & Münch, Beat & Wyrzykowski, Mateusz. (2023). CO2 absorption of recycled concrete aggregates in natural conditions. *Materials Today Communications*. 36. 106569. 10.1016/j.mtcomm.2023.106569.

28. Lewis, D. Impact of Urbanization on Air Quality in European Metropolitan Areas. *European Journal of Technology*, 8(2), 12–24. (2024) <https://doi.org/10.47672/ejt.1857>.

29. Li L. Environmental benefit assessment of steel slag utilization and carbonation: A systematic review / L. Li, T. C. Ling, S. Y. Pan // *Science of the Total Environment*. – 2022. – T. 806.

30. Lin Chen, Lepeng Huang, Jianmin Hua, Zhonghao Chen, Lilong Wei, Ahmed I. Osman, Samer Fawzy, David W. Rooney, Liang Dong & Pow-Seng Yap. Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*. Vol. 21. 2023. pp. 1627–1657

31. López-Arias, Marina & Moro, Carlos & Francioso, Vito & Elgaali, Husam & Velay-Lizancos, Mirian. (2023). Effect of nanomodification of cement pastes on the CO2 uptake rate. *Construction and Building Materials*. 404. 133165. 10.1016/j.conbuildmat.2023.133165.

32. Luqman, M., Rayner, P.J. & Gurney, K.R. On the impact of urbanisation on CO2 emissions. *npj Urban Sustain* 3, 6 (2023). <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00084-2>.

33. Management of territory development based on an integrated assessment / S. Sheina, W. Dietmar, R. Matveyko, L. Teryukova // *European Science Review*. – 2015. – No. 11-12. – P. 214-219. – EDN TLYJFJ.

34. Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries. *Ecological Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.009>.

35. Miller S.A., Horvath A., Monteiro P.J. Readily implementable techniques

cancut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. Environ. Res. Lett. 2016. No 11, 074029 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074029>.

36. Mingyu Yang, Lin Chen, Jianzhong Lai, Ahmed I. Osman, Mohamed Farghali, David W. Rooney, Pow-Seng Yap. Advancing environmental sustainability in construction through innovative low-carbon, high-performance cement-based composites: A review. Materials Today Sustainability. 2024. No 26 pp. 1-25.

37. Mohd Hanifa a b, R. Agarwal a, U. Sharma a, P.C. Thapliyal a, L.P. Singh a. A review on CO₂ capture and sequestration in the construction industry: Emerging approaches and commercialised technologies. Journal of CO₂ Utilization. Vol. 67. 2023. 102292. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102292>.

38. Monteiro P. J. M. Towards sustainable concrete / P. J. M. Monteiro, S. A. Miller, A. Horvath // Nature Materials. – 2017. – T. 16. – № 7. – C. 698-699.

39. Navarro C. Physico-chemical characterization of steel slag. study of its behavior under simulated environmental conditions / C. Navarro, M. Díaz, M. A. Villa-García // Environmental Science and Technology. – 2010. – T. 44. – № 14. – C. 5383-5388.

40. Nuwan Gunarathne A. D. Low-carbon consumer behaviour in climate-vulnerable developing countries: A case study of Sri Lanka / A. D. Nuwan Gunarathne, P. K. Hitigala Kaluarachchilage, S. M. Rajasooriya // Resources, Conservation and Recycling. – 2020. – T. 154. – C. 104592.

41. Peng C (2016) Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. J Clean Prod 112:453–465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>.

42. Robert H. Crawford 2022 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1218 012047. DOI 10.1088/1757-899X/1218/1/012047.

43. S. Gupta Carbon sequestration in cementitious matrix containing pyrogenic carbon from waste biomass: A comparison of external and internal carbonation approach J. Build. Eng., 43 (2021), p. 20.

44. S. Nangombe. Record-breaking climate extremes in Africa under stabilized 1.5 °c and 2 °c global warming scenarios / S. Nangombe, T. Zhou, W. Zhang [и др.] //

Nature Climate Change. – 2018. – Т. 8. – № 5. – С. 375-380.

45. S. Praneeth, R.N. Guo, T. Wang, B.K. Dubey, A.K. Sarmah Accelerated carbonation of biochar reinforced cement-fly ash composites: Enhancing and sequestering CO₂ in building materials Constr. Build. Mater., 244 (2020), p. 10

46. Saghir J. Urbanization in Sub-Saharan Africa / J. Saghir, J. Santoro // Meeting Challenges by Bridging Stakeholders. Washington, DC, USA: Center for Strategic & International Studies. – JSTOR, 2018.

47. Salim Barbhuiyaa, Fragkoulis Kanavarisb, Bibhuti Bhusan Dasc, Maria Idreesd. Decarbonising cement and concrete production: Strategies, challenges and pathways for sustainable development. Journal of Building Engineering No 86. (2024) pp.108861. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108861>.

48. Science alert <https://www.sciencealert.com/it-s-official-atmospheric-co2-just-exceeded-415-ppm-for-first-time-in-human-history>. (дата обращения: 10.12.2024).

49. Smart urban planning: Modern technologies for ensuring sustainable territorial development / V. Y. Spiridonov, S. G. Shabiev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2020 International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020, Sochi, 06–12 сентября 2020 года. Vol. 962, 3. – BRISTOL: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 032034.

I. Sulemana, E. Urbanization and income inequality in Sub-Saharan Africa / I. Sulemana, E. Nketiah-Amponsah, E. A. Codjoe, J. A. N. Andoh // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Vol. 48. – P. 101544.

50. Tagwale, Pranav & Bambroo, Vibhas & Bande, Rituja & Rathod, Prasad & Mali, S.. (2015). POTENTIAL OF CARBON DIOXIDE ABSORPTION IN CONCRETE. International Journal of Students' Research in Technology & Management. 3. 369-372. 10.18510/ijstrtm.2015.357.

51. Tan, F., Yang, S. & Niu, Z. The impact of urbanization on carbon emissions: both from heterogeneity and mechanism test. Environ Dev Sustain 25, 4813–4829 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02246-1>

52. Tang B., Wu H., Wu Y.F. Evaluation of carbon reduction benefits of

compression cast waste rubber concrete based on LCA approach. J. Build. Eng. 2024. No 86. 108818. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108818>.

53. Thorne J., Bompa D.V., Funari M.F., Garcia-Troncoso N. Environmental impact evaluation of low-carbon concrete incorporating fly ash and limestone. Cleaner Materials. 2024. No 12. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100242>.

54. Uliasz-Bocheńczyk, A. Waste used for CO₂ via mineral carbonation. Mineral and Energy Economy Research of Institute of Polish Academy of Science. Krakow. 2007. 8 p.

55. Unfccc V. Adoption of the Paris agreement / V. Unfccc // Proposal by the President. – 2015. – Vol. 282. – № 2.

56. United Nations Environment Programme (2023). Building Materials and the Climate: Constructing a New Future. Nairobi

57. USGS. (2021), Mineral Commodity Summaries 2021. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

58. Vsevolod A. Mymrin, Natalia A. Tolmacheva, Elena V. Zelinskaia, Anastasia V. Kurina, Aleksandr A. Garashchenko Research of the environmentally safe waste-based building materials. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 9, pp. 1143–1153. DOI 10.22227/1997-0935.2018.9.1143-1153.

59. Wang X., Wang J., Kazmi S.M., Wu Y.F., Development of new layered compression casting approach for concrete. Cem. Concr. Compos. 2022. No 134, 104738. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104738>.

60. Wasko C. Linking temperature to catastrophe damages from hydrologic and meteorological extremes / C. Wasko, A. Sharma, A. Pui // Journal of Hydrology. – 2021. – T. 602. – C. 126731.

61. Wei-Zheng Wang, Lan-Cui Liu, Hua Liao, Yi-Ming Wei, Impacts of urbanization on carbon emissions: An empirical analysis from OECD countries, Energy Policy, Volume 151, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112171>.

62. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary

63. Wu Y.F., Kazmi S.M., Munir M.J., Zhou Y., Xing F., Effect of compression casting method on the compressive strength, elastic modulus and microstructure of rubber concrete. J. Clean. Prod. 2020. No 264, 121746 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121746>.

64. Y. Li, M. Cai, K. Wu, J. Wei. Decoupling analysis of carbon emission from construction land in Shanghai J. Clean. Prod., 210 (2019), pp. 25-34.

65. Zhan B. J. Materials characteristics affecting CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates / B. J. Zhan, C. S. Poon, C. J. Shi // Cement and Concrete Composites. – 2016. – T. 67. – С. 50-59.

66. Zhan, C., Xie, M., Lu, H., Liu, B., Wu, Z., Wang, T., Zhuang, B., Li, M., and Li, S.: Impacts of urbanization on air quality and the related health risks in a city with complex terrain, Atmos. Chem. Phys., 23, 771–788, <https://doi.org/10.5194/acp-23-771-2023>, 2023.

67. Zhang D. Carbonation Curing of Precast Fly Ash Concrete / D. Zhang, X. Cai, Y. Shao // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2016. – T. 28. – № 11.

68. Zhang X, Wang F (2015) Life-cycle assessment and control measures for carbon emissions of typical buildings in China. Build Environ 86:89–97. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.003>

69. Zhang, Li & You, Shibing & Zhang, Miao & Zhang, Shiwen & Yi, Shuaixiang & Zhou, Baokang. (2022). The effects of urbanization on air pollution based on a spatial perspective: Evidence from China. Frontiers in Environmental Science. 10. 1058009. 10.3389/fenvs.2022.1058009.

70. Zhang, S., Li, Z., Ning, X., & Li, L. (2021). Gauging the impacts of urbanization on CO₂ emissions from the construction industry: Evidence from China.

71. Абдрахимов В.З. Использование металлургических кальций-, алюминий- и железосодержащих шлаков в производстве жаростойкого бетона на основе ортофосфорной кислоты // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 82–95. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.1.07

72. Абдрахманов Р.Ф., Ахметов Р.М. Влияние техногенеза на

поверхностные и подземные воды Башкирского Зауралья и их охрана от загрязнения и истощения. // Геологический сборник. 2006, №6. Информационные материалы. С 266-269.

73. Акимцев В.В. Почвы Малой Чечни / В.В. Акимцев.- Труды СКАНИИ. № 32. Вып. 1. Ро-стов-на-Дону. 1928. — 59 с.

74. Алисов Б.П. Климат СССР/ Б.П. Алисов.- М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956.- 104 с.

75. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.

76. Амосов Р. А., Двуреченская С. С. Минералы - убийцы. // Руды и металлы. 1992. № 1. С.152-155.

77. Антипова А.В. География России. Эколого-географический анализ территории / А.В. Антипова. - М.: МНЭПУ, 2001 -208 с.

78. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Горнопромышленный техногенез как фактор трансформации гидрохимии природных вод. //Эколого-геохимические исследования в районах интенсивного техногенного воздействия. М.: ИМГРЭ, 1990, с. 21-32.

79. Балханов В.В., Кременецкий И.Г., Перевалова О.А. Некоторые вопросы охраны окружающей природной среды. // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого и горнодобывающего комплексов Республики Бурятия: Науч.-техн. конф.(Тез. докл.) Улан- Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. - С.131-133.

80. Банденок Л.И., Давыдова Л.А. Экологические проблемы цветной металлургии. // Цветная металлургия. 1997. № 8-9. С. 36-45.

81. Беляев В.Н. Проблемы освоения техногенных образований. // Изв. Вузов. Горный журнал. 1998. № 7-8. С.202-212.

82. Боков В.Г., Лазарев В.Н., Шуленина З.М. Экологические и экономические аспекты, проблемы горнопромышленных отходов.// Разведка и охрана недр. 1995. № 8. С. 21-25.

83. Большая советская энциклопедия. в 30-ти т.. – 3-е изд. – М. : Совет. энцикл., 1986. ил., карт.

84. Братков В.В. Ландшафтное разнообразие Чеченской Республики / В.В. Братков, Р.А. Идрисова, А.А. Алсабекова.- Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2009. № 1.- С. 34-39.

85. Бринза В.Н. Охрана окружающей среды и утилизации отходов в металлургии. М., Металлургия. 1984. 128 с.

86. Бурцева В.С. Устойчивое развитие в строительстве – почему этим стоит заниматься уже сейчас? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niisf.org/biblio/glavnaya/ustojchivoe-razvitie-v-stroitelstve-pochemu-etim-stoit-zanimatsya-uzhe-sejchas>. (Дата обращения 07.07.2024).

87. Бушуев А.Г., Кузьмин В.И., Черкашина Н.А. Токсичные органические соединения в рудах твердых полезных ископаемых. /Освоение недр и экологические проблемы - взгляд в XXI век. Тезисы докл. междунар. конф., М., 20-25 нояб. 2000 г. С. 236-237.

88. Вакуров А.Е., Абросимов И.П. Описание и преимущества технологии производства бетона из диоксида углерода в строительстве // Бюллетень науки и практики Т. 4. №8. 2018.-С. 148-153.

89. Владимиров Д. Карабаш в тумане. // Известия. 2000, 3 апреля, № 60.

90. Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность / [З.И. Шуленина, В.В. Багров, А.В. Десятов и др.]. - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - 401 с.

91. Водно- ресурсный потенциал Чеченской Республики// Гаджиев М.К., Курбанчиев Г.С., Осипова Н.Ф. и др. Грозный, Западно- Каспийское БВУ, 2007.- 212с.

92. Волков А.М. Проблемы отходов производства и потребления в юго-восточном регионе Башкортостана. // В сб. Отходы - 2000. Материалы второй Всероссийской научно-практической конференции от 22-24 ноября 2000 г. Уфа. Часть III. С 138-141.

93. Волков Ю.И. Развитие мониторинга водных ресурсов КМА. // Горный журнал. 1996. № 1-2. С. 39-40.

94. Волынкина, Е.П. Анализ состояния и проблем переработки

техногенных отходов в России [Электронный ресурс] / Волюнкина Е. П. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. - № 2 (20). – С. 43-49.

95. Ву Ким Зиен, Танг Ван Лам, Баженова С.И., Нгуен Зуен Фонг. Возможность использования доменных шлаков в производстве бетонов и растворов во Вьетнаме // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова №11, 2019.- С.17-24. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-17-24.

96. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа / А.И. Галушко. -Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978. – 352 с.

97. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа. Общая часть. Большой Кавказ / Н.А. Гвоздецкий.- Изд-во Московского ун-та, 1954. -208 с.

98. Герасимов И.П. Геологическое строение и рельеф. В кн: Альпы — Кавказ. Современные проблемы конструктивной географии горных стран. Научные итоги франко-советских полевых симпозиумов в 1974 и 1976 гг. / И.П. Герасимов.-М.: Наука, 1980.- С.147–157.

99. Гиясов Б.И. Роль факторов современных городов в формировании экологии окружающей среды // Экология урбанизированных территорий. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-faktorov-sovremennyh-gorodov-v-formirovanii-ekologii-okruzhayuschey-sredy> (дата обращения: 08.06.2024).

100. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: Учеб. Пособие для студ. геогр. спец. вузов. - М.: Высшая школа.1988. 328 с.

101. Голик В.И., Воробьев А.Е., Козырев Е.Н. Проблемы воздействия горнопромышленного комплекса республики Северная Осетия - Алания на окружающую среду // Горный журнал. 2001. № 2. С. 40-42.

102. Головлев А.А. О поясах растительности аридных котловин Чечено-Ингушетии А.А. Головлев.-Грозный: ЧИГУ. 1988.- С. 29-34.

103. Головлев А.А. Почвы Чечено-Ингушетии /А.А. Головлев, Н.М. Головлева.-Грозный: «Книга». 1991.- 351 с.

104. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды

Чеченской Республики в 2022 году.-Грозный. 2023.-140 с.

105. Гребенщиков О.С. Природные экосистемы и вертикальная поясность / О.С. Гребенщиков, Р.П. Зимина, Ю.А. Исаков. -М.: Наука, 1980. С.179–194.

106. Грехнев Н.И. Эколого-геохимические аспекты оценки техногенного загрязнения геосистем горнорудных районов юга Дальнего Востока // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. РАН, Дальневосточное отделение, институт горного дела, Владивосток. Дальнаука, 1998. с. 33-44.

107. Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа / А.А. Гроссгейм.- Изд-во МОИП, М., 1948. 264 с.

108. Гулисашвили В.З. Растительность Кавказа/ В.З. Гулисашвили, Л.Б. Махатадзе, Л.И. Прилипко.- М.: Наука, 1975.- 236 с.

109. Данные о национальных выбросах, представленные РКИК ООН и Механизму мониторинга парниковых газов ЕС, октябрь 2023 г., Европейское агентство по окружающей среде (ЕАОС)

110. Демаков Ю.П. Оценка антропогенной нарушенности природных комплексов /Ю.П. Демаков// Теоретические и практические аспекты устойчивого природопользования. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. С. 290–304.

111. Дренажные воды - источник техногенного гидроминерального сырья на Урале. /Грязнов О.Н., Палкин С.В., Новиков В.П. и др. //Изв. Вуз. Горный журнал. 1997. № 11-12. С. 58-65.

112. Дрягунскова В. Ручей и луг в индустриальном ландшафте. // Металлы Евразии. - 1996. - № 5. - С 106-107.

113. Думитрашко Н.В. Геоморфологическое районирование / Н.В. Думитрашко.- М.: Наука, 1966. -С. 80-85.

114. Дэвид Дж, Герцог. Оценка воздействия рудничных отходов на поверхностные и подземные воды. // Mining Engineering.- 1995. - Т. 47,3. - Р. 254-256.

115. Емлин Э.Ф. О геотехносфере Урала. // Изв. Вузов. Горный журнал. 1993. № 6. С. 135- 138.

-
116. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. - Свердловск: изд-во Урал. Ун-та. 1991. 256 с.
117. Ефашкин И.Г. Экология металлургической промышленности Российской Федерации // Цветные металлы. 1996. № 8. С. 69-71.
118. Ефремов Ю.В. Региональная геоморфология Кавказа: Учебное пособие / Ю.В. Ефремов, Е.В. Антошкина. – Краснодар: КубГУ, 2005. – 123 с.
119. Жукова Г.Г., Сайфулина А.И. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-primeneniya-samovosstanavlivayuschegosya-betona> (дата обращения: 11.09.2024).
120. Захаров С.А. О почвенных областях и зонах Кавказа / С.А. Захаров.-М., 1913.
121. Зонн И.С. Пески и почвы Терско-Кумской полупустыни и их хозяйственное значение / И.С. Зонн. - Л.: ВАСХНИЛ. 1933. — С. 107-145.
122. Зотеев В.Г., Костерова Т.К., Тагильцев С.Н. Меры борьбы с загрязнем гидросферы на территории горнодобывающих комплексов Урала. // Изв. Вуз. Горный журнал. - 1995. № 5. С. 141-150.
123. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн./Под ред. Э.К. Буренкова. - М.: Недра, 1994. - Кн. 1: s-элементы. - 304 с.
124. Калабин Г.В. Кольский горно-металлургический комплекс и окружающая среда. // Цв. Металлы. 2000. № 10. С. 75-80.
125. Камруков А.С., Кострица В.Н., Багров В.В. [и др.]. Влияние техногенных отходов и сточных вод на окружающую среду [Электронный ресурс]. URL: <https://watermagazine.ru/>. 07.11.2019 (дата обращения: 10.10.2024).
126. Колесников Б.П., Пикалова Г.М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда, 1974. -С.3-27.
127. Краснобаева С.А., Медведева И.Н., Брыков А.С., Стафеева З.В., Свойства материалов на основе портландцемента с добавкой метакаолина МКЖЛ // Наука и производство №1, 2015.- С.50-55.
-

128. Кузнецова Т.В., Нефедьев А.П., Коссов Д.Ю. Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метаксаолина // Строительные материалы № 7, 2015.-С. 3-9.

129. Лыгина Т. З., Лузин В. П., Корнилов А. В. Техногенные отходы нерудного сырья в производстве строительных материалов // Известия КазГАСУ. 2017. №4 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnogennyye-othody-nerudnogo-syrya-v-proizvodstve-stroitelnyh-materialov> (дата обращения: 21.12.2024).

130. Мариев О.С., Давидсон Н.Б., Емельянова О. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России / Journal of Applied Economic Research. 2020. Т.19. №3. С.286-309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014

131. Мачигова Ф.И. Геохимические исследования термальных вод Ханкальского месторождения Чеченской Республики / Ф.И. Мачигова, Шаипов А.А., Бекмурзаева Л.Р., Черкасов С.В. / Устойчивое развитие горных территорий.- 2014, №2 (20). -С. 61-64.

132. Милашевская А.Н. Принципы развития системы расселения в работах французских авторов // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. № 4(61). С. 239–255.

133. Морозов Н.М., Боровских И.В. Влияние метаксаолина на свойства цементных систем // Известия КГАСУ, №3 (33), 2015.- С. 127-132.

134. МРР-3.2.23–97 «Методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве и одновременном росте сметной стоимости». Дата введения 01.01.1998. ГУП «НИИЦ», 1998. - <https://meganorm.ru/Index1/5/5390.htm> (дата обращения 13.10.2024г.)

135. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути

альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С.73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>.

136. Муртазаева, Т.С.-А. Высокопрочные бетоны на основе вторичного сырья: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.05 / Муртазаева Тамара Саид-Альвиевна; [Место защиты: Дагестан. гос. техн. ун-т]. - Грозный, 2018. - 24 с.

137. Мусор: влияние на экологию, методы борьбы, материал с сайта: <https://belozer.ru/musor-vliyanie-na-ekologiyu-metody-borby/> 2022 (дата обращения: 11.11.2024).

138. Мячкова Н.А. Климат СССР/ Н.А. Мячкова. - М.: Изд-во МГУ, 1983.- 192 с.

139. Новопокровский И.В. Растительность Северо-Кавказского края / И.В. Новопокровский.- Ростов-на-Дону: изд- во Сев.- Кавк. края, 1925.

140. Новые комплексные материалы для утилизации вредных выбросов и отходов / А. В. А. Саидов, Х. Н. Мажиев, Д. К. С. Батаев // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. – 2004. – № 4. – С. 230-232. – EDN RDJBXB.

141. Новые экологически безопасные материалы из отходов промышленности / Д. К. С. Батаев, Х. Н. Мажиев, А. В. А. Саидов, Ф. В. Яндарова // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. – 2003. – № 3. – С. 182-185. – EDN RCQOCX.

142. Опарина Л.А. Учет энергоемкости строительных материалов на разных стадиях жизненного цикла зданий // Строительные материалы №11, 2014а.- С.44-45.

143. Опарина, Л.А. Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве: учеб. пособие / Л.А. Опарина. – Иваново: ПресСто, 2014б. – 256 с.

144. Прибытков С.Н. К характеристике растительного покрова Чечено-Ингушской АССР / С.Н. Прибытков. - Грозный: Чечено-Ингушское книжное

изд-во, 1981.- С. 84-98.

145. Проблемы обращения с ТБО в Чеченской Республике / Р. Х. Мамаджанов, Е. Н. Латушкина, Д. К. С. Батаев [и др.] // Твердые бытовые отходы. – 2015. – № 6(108). – С. 56-57. – EDN UKVXPF.

146. Пугин К.Г., Пугина В.К. Особенности использования ресурсного потенциала отходов производства для получения строительных конструкций и материалов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9-2. – С. 289-293; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40737> (дата обращения: 21.12.2024).

147. Региональные аспекты перехода Чеченской Республики к устойчивому развитию: биография/ Х.Э. Таймасханов, Ш.Ш. Заурбеков, М.Л. Алибасов и др.- Ставрополь: Сервисшкола, 2009.-160 с.: ил.

148. Рейнгард А.Л. Геоморфология Северный Кавказ /А.Л. Рейнгард.- Геология СССР, 1947. Т. 9.

149. Решетняк С.П., Архипов А.В. Обоснование путей и способов формирования техногенных месторождений, представленных отвальными породами и рудами карьеров // Записки Горного института. Т.198. СПб.2012.- С. 30-36.

150. Рузавин А.А. Применение метода ускоренной карбонизации в технологии бетонного производства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2017. Т. 17, № 3. С. 72–75. DOI: 10.14529/build170311.

151. Рыжиков В.В. Жемчужина Чечено-Ингушетии: [Оз. Кезеной-Ам] / В.В. Рыжиков.– Грозный: М-во культуры ЧИАССР. Чечено-Ингуш. респ. краевед. музей, 1972. - 32 с.

152. Рыжиков В.В. Природа Чечено-Ингушской республики, ее охрана и рациональное использование/ В.В. Рыжиков, П.С. Анисимов, Г.Г. Самарский, С.К. Газарьянц, А.А. Голобуцкий.- Грозный: «Книга». 1991. -160 с.

153. Савин В.К. Строительная физика: энергоэкономика / В.К. Савин –М.: «Лазурь», 2011. – 418 с.

154. Сайдумов М., Муртазаев С., Аласханов А., Дагин И., Нахаев М.

Техногенные отходы как сырьевая база для получения современных строительных композитов. Экология и промышленность России. 2019;23(7):31-35. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-31-35>

155. Сайдумов М.С., Муртазаев С.-А.Ю., Межидов Д.А. Теоретические и практические аспекты вторичного использования отходов гидролизных производств в композиционных строительных материалах (обзор) // Строительные материалы. 2023. № 12. С. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-820-12-61-69>.

156. Саламанова М.Ш., Гацаев З.Ш., Сызранцев В.В. Исследование свойств щелочных вяжущих материалов с добавкой тонкодисперсного бентонита // Вестник Московского государственного строительного университета. 2022. Т. 17. № 8. С. 1017-1026.

157. Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // Строительные материалы. 2019. № 7. С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>

158. Саламанова, М.Ш. Строительные композиты на основе бесклнкерных вяжущих щелочной активации: диссертация ... доктора технических наук: 2.1.5. / Саламанова Мадина Шахидовна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»]. — Махачкала, 2022. — 506 с.: ил.

159. Самусева М.Н., Шишелова Т.И., Кокряцкий С.Ю., Суслов Н.Е., Тимофеев К.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ // Успехи современного естествознания. — 2009. — № 8. — С. 8-9; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14042> (дата обращения: 21.12.2024).

160. Сафронов И.Н. Основные этапы развития рельефа Северного Кавказа / И.Н. Сафронов.- Изв. Всесоюз. геогр. общества, 1964. Т.96. №5.

161. Северный маяк: <https://severnymayak.ru/2019/05/13/vpervye-soderzhanie-co2-v-atmosfere-prevysilo-415-ppm-i-eto-ploxo/> (дата обращения: 10.12.2024).

162. Сейидов А., Ходжанова М., Ходжаязова А. УПРАВЛЕНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ: СТРАТЕГИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ // Вестник науки. 2024. №12 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-stroitelnyimi-othodami-strategii-dlya-ustoychivogo-razvitiya> (дата обращения: 11.12.2024).

163. Сердюкова, А. Ф. Экологические проблемы мегаполисов / А. Ф. Сердюкова, Д. А. Барабанщиков. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 25 (211). — С. 36-39. — URL: <https://moluch.ru/archive/211/51592/> (дата обращения: 08.06.2024).

164. Середин Р.М. Северный Кавказ / Р.М. Середин.- Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1980.- С.18-41.

165. Сопегин Г.В., Семейных Н.С. Исследование влияния комплексной добавки на течение щелочно-силикатной реакции в легких бетонах на основе гранулированного пеностекла // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3. – С. 68–78. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.06

166. Темникова Н.С. Климат Северного Кавказа и прилежащих степей/ Н.С. Темникова. — Л.: Гидрометеиздат, 1959. — 368 с.

167. Устойчивое развитие в строительстве – почему этим стоит заниматься уже сейчас? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niisf.org/biblio/glavnaya/ustojchivoe-razvitie-v-stroitelstve-pochemu-etim-stoit-zanimatsya-uzhe-sejchas>. – Дата обращения 07.07.2024.

168. Фаткулина А.В. Экологические аспекты образования породных отвалов // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. - 2018. - №2. - С. 33-37

169. Фомина Л.В. Проблемы развития устойчивого строительства в России// Молодой ученый. — 2022. — № 5 (400). — С. 56-59. — URL: <https://moluch.ru/archive/400/88639/> (дата обращения: 13.07.2024).

170. Фридланд В.М. Почвы / В.М. Фридланд.- М.: Наука, 1966.- С. 187-222.

171. Харченко А.И., Харченко И.Я., Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш. Применение бесклинкерных вяжущих в геотехническом строительстве //

Эксперт: теория и практика. 2023. №1 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-besklinkernyh-vyazhuschih-v-geotekhnicheskom-stroitelstve> (дата обращения: 21.12.2024).

172. Чижов Р. В., Кожухова Н. И., Строкова В. В., Жерновский И. В. Алюмосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их использования // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/alyumosilikatnye-besklinkernye-vyazhuschie-i-oblasti-ih-ispolzovaniya> (дата обращения: 21.12.2024).

173. Чомаева М.Н. Экологические проблемы воздействия химической промышленности на окружающую среду (на примере цементного производства) // Национальная безопасность и стратегическое планирование. - СПб.: Стратегия будущего, 2016. - N 2 ч.1. - с. 141-143.

174. Чубуков Л.А. Климат / Л.А. Чубуков.- М.: Наука, 1966. — С. 85-125.

175. Шведова Н.А. ООН и цели устойчивого развития: на пути к реализации // Женщина в российском обществе. 2022. № 3. С. 3—16.

176. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. ОБЗОР НАПРАВЛЕНИЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 4. – С. 198-203; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12723> (дата обращения: 11.12.2024).

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Монография

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ
ПРОБЛЕМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ
ТЕРРИТОРИЯХ**

Авторы:

Муртазаев С-А.Ю., Сайдумов М.С., Бекмурзаева Л.Р.,
Мажиев К.Х., Межидов Д.А., Абумуслимов А.С., Гацаев З.Ш.,
Висханов С.С., Муртазаев Им.С-А., Саидов А-К.С-Б., Батаева Я.Д.,
Муртазаев Ис.С-А., Сайдумов М-С.М., Витаргова Р.С.

Издано в авторской редакции.

ООО Альпен-Принт,
115230, г. Москва, Электролитный проезд, 3А, с2

Формат 70×100/16
Тираж 500 экз. Заказ № mru03-2025.
Подписано в печать 25.11.2025

Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО Альпен-Принт. Москва, Электролитный проезд, 3А, с2

ISBN 978-5-6054615-9-3



9 785605 461593 >

elibrary.ru



book.nauchizdatel.ru



