



Министерство науки и высшего образования РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет»

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный
университет»

«Министерство природных ресурсов и экологии
Свердловской области»

Сетевое издание «Управление техносферой»

XXIV УРАЛЬСКАЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ДЕКАДА

МАТЕРИАЛЫ

**7-й Международной научно-практической
конференции**

**«Перспективы экологического
развития России и стран СНГ»**

06-08 апреля 2026 г.

Екатеринбург – 2026

УДК 338.001.36: 502/504 (470+571)

ББК

Н

Н

Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 7-й Международной научно-практической конференции, 06-08 апреля 2026 г., проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады 02-11 апреля 2026 г., Екатеринбург: Издательство – УГГУ, 2026. – 245 с. – ISBN

В сборнике материалов конференции рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с перспективами экологического развития России и стран СНГ, в том числе в нем освещены вопросы: эффективности и культуры природопользования и формирования новой цивилизации, техносферологии, как новой науки, и ее роли в экономике замкнутого цикла, экологизации техносферы, как перспективного национального проекта России, природоподобных технологий в освоении минерального вещества, утилизации отходов минерально-сырьевого комплекса, проблем и барьеров при создании горно-промышленных комплексов, повышения экологического благополучия РФ в рамках соответствующего национального проекта, формирования в обществе "экологического сознания", совершенствования системы экологического образования и воспитания в современном обществе.

Материалы могут представлять интерес для специалистов, занимающихся вопросами управления техносферой, техносферной безопасности, обращения с отходами производства и потребления, инженерно-технических работников предприятий горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также быть полезными для преподавателей, аспирантов и студентов.

ISBN

ПРЕДИСЛОВИЕ

Седьмая международная научно-практическая конференция «Перспективы экологического развития России и стран СНГ» проходила на площадках Уральского государственного горного университета (УГГУ) и Удмуртского государственного университета (УдГУ).

В конференции приняли участие 129 человек, представлявших 29 вузов Российской Федерации от Санкт-Петербурга до Владивостока, 8 Институтов РАН и НИИ, другие организации Федерального уровня, а также 6 докладчиков из стран СНГ (Азербайджан, Белоруссия, Узбекистан) и Ирака.

Основными темами для обсуждения были следующие:

- Экологизация техносферы, как перспективный национальный проект России;
- Реализация принципов экономики замкнутого цикла и биоэкономики;
- Природоподобные технологии в освоении минерального вещества;
- Утилизация отходов минерально-сырьевого комплекса;
- Повышение экологического благополучия РФ в рамках национального проекта;
- Система экологического образования и просвещения в современном вузе.

В результате обсуждения были выявлены крупные научные и практически значимые проблемы экологического развития стран СНГ, которые приводились в докладах:

1) Эффективность и культура природопользования и формирование новой цивилизации (Кочуров Б.И.).

2) Техносферологии как новая наука и ее роль в экономике замкнутого цикла (Липаев А.А.).

3) Обоснование технологической парадигмы декарбонизации тепловой энергетики на основе минерального топлива (Трубецкой, К.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В.).

4) «Машины с биологическими блоками» для будущей экотехносферы (Ткаченко Ю.Л.).

5) Практические аспекты использования природоподобных технологий освоения минерального вещества (Наумов В.А.).

6) Реализация экономики замкнутого цикла на медно-колчеданных шахтах, выведенных на мокрую консервацию (Зобнин Б.Б.).

7) Экологические аспекты применения модифицированных глинистых материалов: от водоочистки до производства строительных композитов (Головачева Е.А., Соколов Л.И.).

8) Повышение нефтеизвлечения из пластов за счет инсинерации отходов (Аль Басиси М.Н.М.).

9) Отходы борного производства как сырье для получения сорбентов (Ярусова С.Б., Гордиенко П.С.).

10) Будущее сети Нижегородских геопарков (Иванов А.В., Офицерова В.В., Иванова М.А.).

11) Пути экологизации нефтегазового производства: экосистемный подход (Красноперова С.А.).

12) Технологические аспекты создания биоцидных мембран для очистки и

опреснения воды (Хайдаров Р.Р., Гарипов И.Т., Галиулин И.Г., Гапурова О.У., Евграфова С.Ю.).

13) Форматы профориентационных мероприятий для школьников как фактор развития инженерных направлений в области охраны окружающей среды и природообустройства (Дружакина О.П.).

Особое внимание участники уделили созданию геопарков и экотуризму как стратегии содействия экологии и устойчивому развитию локальных сообществ, развитию волонтерства и добровольчества.

Подводя итоги, можно отметить, что конференция не только углубила понимание экологической культуры и подходов к экопросвещению, способствовала развитию осведомленности об экологической безопасности, но и создала базу для последующих совместных инициатив, направленных на защиту окружающей среды и формирование устойчивого будущего.

Таким образом, был сделан важный шаг к более глубокому пониманию и решению актуальных экологических проблем России и стран СНГ, к дальнейшим совместным исследованиям и проектам в этой области.

Материалы конференции частично опубликованы в сетевом издании «Управление техносферой».

Сопредседатель конференции, д.т.н., профессор
«УГГУ» и «УдГУ», академик РАЕН, главный редактор
сетевого издания «Управление техносферой»

А.А.Липаев

Раздел 1

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ТЕХНОСФЕРЫ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МУТНОСТИ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАБОТАХ ГИДРОНАМЫВА

Белоусов М. Ю., Конюшков В. В.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Введение

Работы гидронамыва в мелководных акваториях почти неизбежно формируют шлейф повышенной мутности. Экологическая значимость такого шлейфа определяется не только локальным максимумом взвешенных веществ у источника, но и длительностью сохранения взвеси, уменьшением прозрачности воды и пространственным охватом зоны воздействия. По данным многолетнего мониторинга Лужской губы Финского залива концентрация взвешенных веществ в годы наиболее интенсивных работ достигала 80 г/м^3 , тогда как в более спокойные периоды в поверхностном слое она обычно составляла $2,0\text{--}10,3 \text{ г/м}^3$, а локально возрастала до $37,8\text{--}47,4 \text{ г/м}^3$ [1].

Перенос взвешенного материала во времени и пространстве имеет многомасштабный характер. Для интерпретации мутности недостаточно отдельных разовых измерений или только суточных средних: на структуру ряда одновременно влияют интенсивность источника, гидрометеорологические условия, связность водоема и морфометрия акватории [2]. Высокочастотные измерения показывают, что уже в интервале 20–30 минут мутность может заметно колебаться вследствие макротурбулентности, поэтому шаг регистрации в мониторинге должен составлять минуты, а не часы [3].

Не менее важна вертикальная неоднородность поля мутности. Обработка 78 поперечных профилей и 40 079 вертикальных распределений обратного рассеяния показала, что концентрация взвеси по глубине зависит от скорости потока, гранулометрии и положения вертикали; для части эмпирических моделей коэффициенты корреляции с измеренными значениями превышали 0,9 [4]. Следовательно, контроль только у поверхности может систематически занижать реальную нагрузку в придонном слое.

Спутниковые методы позволяют дополнять полевой мониторинг картиной пространственного распределения шлейфа, однако не заменяют натурные измерения. Для прибрежных вод алгоритм Nechad дает наиболее надежные результаты при мутности менее 50 NTU, тогда как алгоритм Dogliotti предпочтителен при высоких значениях мутности, начиная примерно со 100 NTU; в обоих случаях обязательна верификация по квазисинхронным измерениям *in situ* [5].

Целью исследования является оценка подходов к мониторингу мутности и взвешенных веществ при гидронамыве на основе литературных данных и демонстрационного расчетного примера. Проверка выбранных подходов выполнена для условной мелководной акватории в форме расчетного

эксперимента. Задачи работы: определить рациональную схему станций и горизонтов наблюдений, показать необходимость локальной калибровки зависимости «FTU–SSC», а также количественно сравнить влияние интенсивности источника, скорости течения и ветрового вторичного взмучивания на пик, длительность, интегральную дозу и длину шлейфа.

Приборное обеспечение и сеть наблюдений

Для расчетного эксперимента принята условная прибрежная акватория глубиной 5–8 м с преобладающим вдольбереговым переносом от участка гидронамыва. Диапазоны скоростей течения, продольной дисперсии и затухания источника выбраны в пределах, характерных для работ по переносу взвеси и дноуглубительным воздействиям [2, 6, 7].

Предлагаемая система мониторинга включает стационарные оптические датчики мутности, профильные измерения температуры и солености, регистрацию течений акустическим доплеровским профилографом (или эквивалентным прибором), а также дискретный пробоотбор для лабораторного определения концентрации взвешенных веществ. Интервал непрерывной регистрации принят равным 10 минутам, что позволяет фиксировать эпизоды вторичного взмучивания и кратковременные колебания ряда [3, 8].

Сеть наблюдений строится по принципу разделения фоновой, операционной и чувствительной зон. В обязательный набор входят фоновая станция вне ожидаемого шлейфа, ближняя операционная станция, контрольный створ для принятия решений и одна или две чувствительные станции в дальней зоне. Для контроля пространственной границы воздействия целесообразно предусматривать дополнительный дальний диагностический пункт.

На Рисунок 1 представлена рекомендуемая схема размещения пунктов наблюдений и горизонтов отбора проб.



Рисунок 1 – Схема пунктов контроля и горизонтов отбора проб при гидронамыве

- В0 – фоновый пункт вне шлейфа;
- В1 – ближняя зона оперативного управления;
- В2 – контрольный створ основной точки реагирования;
- В3, В4 – чувствительная и дальняя диагностическая зоны

Характеристика предложенных пунктов контроля приведена в Таблица 1.

Таблица 1 – Рекомендуемая сеть наблюдений для мелководной акватории

Пункт	х, км	Функция	Горизонты	Основные параметры
В0	-0,8	фоновая станция	поверхностный, придонный	FTU, SSC, температура, соленость
В1	+0,3	операционная ближняя зона	0,5 м; 0,5Н; 0,2 м от дна	FTU, SSC, метеопараметры
В2	+2,0	контрольный створ	0,5 м; 0,5Н; 0,2 м от дна	FTU, SSC, ADCP/течения
В3	+3,5	чувствительная зона	0,5 м; 0,5Н; 0,2 м от дна	FTU, SSC, прозрачность
В4	+5,0	дальняя диагности- ческая станция	поверхностный, придонный	FTU, точечные пробы SSC

Пробоотбор, лабораторная обработка и показатели воздействия

Дискретные пробы воды рекомендуется отбирать батометром или аналогичным водозаборным устройством на трех горизонтах: 0,5 м от поверхности, в середине толщи воды (0,5Н) и в 0,2 м от дна. Такая схема позволяет не смешивать собственно водную взвесь с донным материалом и в то же время фиксировать максимум мутности в нижней части профиля. В активной фазе работ парные пробы "датчик – лаборатория" следует отбирать не реже одного раза в 3 часа, а после превышения пороговых значений – с часовым шагом до нормализации.

Определение SSC/TSS выполняется гравиметрически после фильтрования через предварительно взвешенные мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм и последующего высушивания до постоянной массы при 105 °С. Для части проб целесообразно дополнительно выполнять гранулометрический анализ, поскольку размер и форма частиц существенно влияют на оптический сигнал. Хранение проб должно исключать посторонние примеси и изменение состава взвеси.

Для оперативной интерпретации данных помимо самой мутности использованы три интегральных показателя воздействия: пиковое значение $T_{max} = \max(T(t))$, длительность превышения порога $\tau_{70} = \int I(T(t) > 70)dt$, где $I(T(t) > 70)$ – индикаторная функция, равная 1 при $T(t) > 70$ и 0 в остальных случаях. Интегральная доза превышения порога $D_{70} = \int \max(T(t) - 70, 0)dt$. Дополнительно определялась максимальная длина шлейфа $L_{70,max}$ – максимальная протяженность шлейфа, в пределах которой наблюдается превышение 70 FTU.

Обозначения:

Т – мутность в контрольной точке, FTU;

τ_{70} – длительность превышения порога 70 FTU, ч;

D_{70} – интегральная доза превышения порога, FTU·ч;

$L_{70,max}$ – максимальная длина шлейфа, км;

х – расстояния от источника, км;

t – время, ч;

$I(T(t) > 70)$ – индикаторная функция, безразмерная величина

Расчетная постановка

Распределение концентрации взвешенных веществ описано упрощенной одномерной адвективно-дисперсионной схемой с экспоненциальным затуханием и отдельным ветровым членом вторичного взмучивания (формулы (1) и (2)). Фоновая концентрация принята постоянной, а интенсивность источника задавалась тремя импульсами, отражающими запуск работ, фазу устойчивого гидронамыва и завершение операции. Для сценария с ветровым воздействием добавлен поздний импульс вторичного взмучивания.

$$C(x, t) = C_{bg} + \int \theta t \cdot q(\tau) \cdot G(x, t - \tau) \cdot d\tau + R_w(t) \cdot \exp(-\lambda_r x) \quad (1)$$

Ядро переноса:

$$G(x, \theta) = (4\pi D_x \theta)^{(-1/2)} \cdot \exp\left[-\frac{(x - U\theta)^2}{(4D_x \theta)}\right] \cdot \exp(-\lambda x), \theta > 0 \quad (2)$$

Обозначения:

$C(x, t)$ – расчетная мутность или концентрация взвешенных веществ в точке x в момент t , FTU;

C_{bg} – фоновое значение мутности, FTU;

$q(\tau)$ – интенсивность поступления взвеси от источника в момент времени τ , FTU/ч;

$G(x, t - \tau)$ – функция отклика системы переноса, 1/км;

τ – переменная интегрирования по времени, ч;

$\theta = t - \tau$ – время, прошедшее с момента поступления порции взвеси, ч;

D_x – коэффициент продольной турбулентной диффузии, км²/ч;

U – средняя скорость адвективного переноса, км/ч;

λ – коэффициент суммарного затухания облака взвеси при переносе, 1/км;

$R_w(t)$ – добавка к мутности, обусловленная вторичным ветровым взмучиванием, FTU;

λ_r – коэффициент пространственного затухания вклада вторичного взмучивания, 1/км;

Для перевода в мутность использована локальная калибровка $FTU = aSSC^b$; глубинная неоднородность (b) учитывалась коэффициентами 1,00 для поверхностного, 1,22 для среднего и 1,45–1,55 для придонного горизонта [4]. Расчет проводился в течение 24 ч с шагом 10 мин.

Параметры сценариев приведены в Таблица 2. Порог 70 FTU использован как условный уровень оперативного реагирования для сравнительного анализа сценариев; в реальном проекте он должен уточняться на основании фоновых данных и требований конкретного водного объекта [7].

Таблица 2 - Параметры расчетных сценариев

Сценарий	U, м/с	D_x , км ² /ч	λ , 1/км	Доля тонкой фракции, %	Скорость ветра, м/с	Описание сценария
S1	0,08	0,045	0,32	22	2,0	малой интенсивности, слабое течение
S2	0,14	0,050	0,25	28	3,0	средняя интенсивность, базовый перенос
S3	0,14	0,055	0,21	35	4,0	повышенная доля тонкой фракции
S4	0,14	0,060	0,17	35	8,0	ветровое вторичное взмучивание
S5	0,22	0,045	0,09	35	4,0	сильная адвекция и дальний перенос

Результаты исследования. Локальная калибровка «FTU – SSC».

Иллюстративная калибровка для двух типов взвеси показана на рисунке 2. Для тонкодисперсной минеральной взвеси получено уравнение $FTU = 2,38SSC^{0,79}$ при $R^2 = 0,963$; для смешанной взвеси $FTU = 0,61SSC^{0,92}$ при $R^2 = 0,921$. Различие кривых принципиально: при $SSC = 150$ мг/л датчик для тонкодисперсной взвеси показывает около 124,6 FTU, а для смешанной около 61,3 FTU. Следовательно, применение «универсального» пересчета без учета гранулометрии способно дать ошибку почти в два раза.

Именно по этой причине при каждом изменении источника грунта, сезона или состава пульпы калибровку необходимо уточнять по парным данным «датчик – проба». Для задач производственного контроля это важнее, чем номинальная паспортная точность самого турбидиметра.

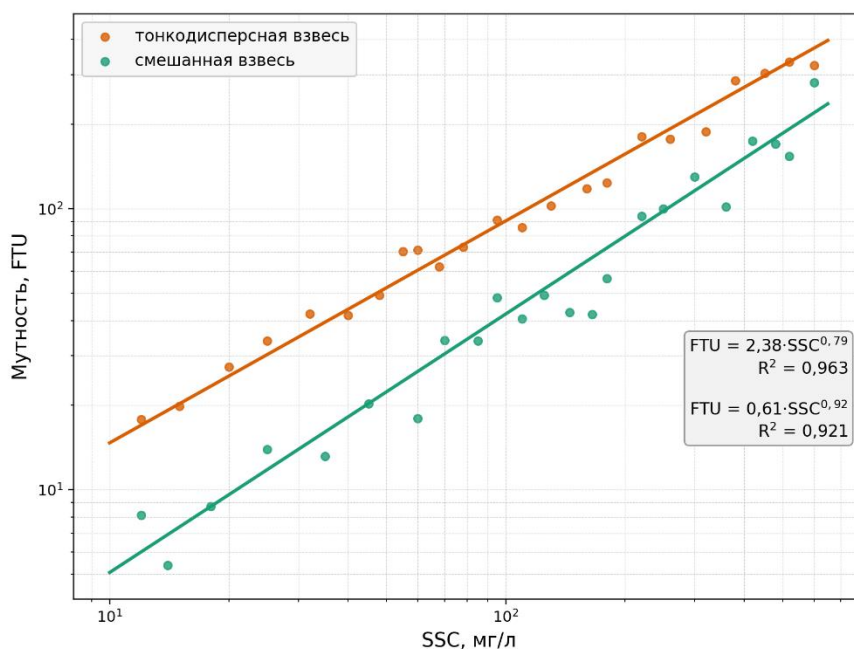


Рисунок 2 – Калибровочные зависимости между мутностью и концентрацией взвешенных веществ для двух типов взвеси

Пространственно-временная динамика мутности

Наиболее показателен сценарий S4, в котором активная фаза гидронамыва сочетается с ветровым вторичным взмучиванием. На (рисунке 3, а) видно, что основная

зона превышения 70 FTU в придонном горизонте формируется через 8–10 ч после начала работ и распространяется примерно до 3,7 км от источника. После ослабления первичного сигнала на ряд накладывается вторичный эпизод взмучивания, в результате чего превышение порога повторно проявляется в интервале 16–20 ч.

В створе В2 глубинные различия оказываются существенными (рисунке 3, б). Для поверхностного горизонта максимум составляет 71,2 FTU и порог превышает всего 0,83 ч, тогда как в среднем горизонте максимум достигает 83,3 FTU при превышении в течение 5,00 ч, а в придонном – 95,5 FTU и 7,33 ч соответственно.

Во втором пике сценария S4 придонная мутность в створе В2 снова возрастает до 91,3 FTU примерно через 17,2 ч после начала работ. Это означает, что завершение активной фазы гидронамыва не эквивалентно окончанию гидроэкологического воздействия.

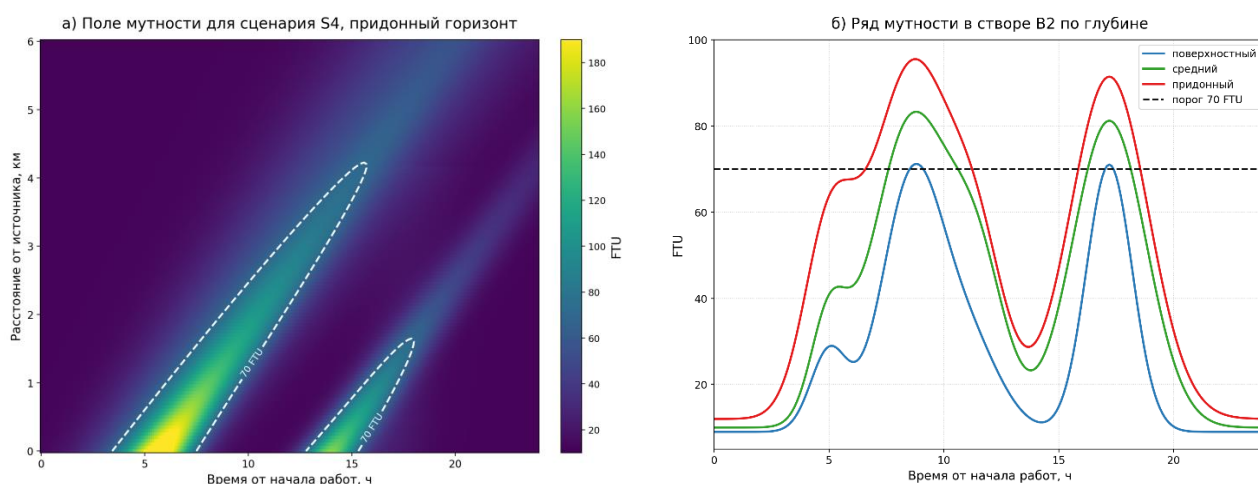


Рисунок 3 – Пространственно-временное поле мутности для сценария S4 и изменение мутности по глубине в контрольном створе С2

Сценарное сравнение показателей воздействия

Сводные числовые результаты приведены в Таблица 3 и на Рисунок 4. В сценарии S1 превышение порога 70 FTU не фиксируется ни в контрольном створе, ни в чувствительной зоне, Сценарий S2 уже приводит к кратковременному выходу за порог в В2: максимум 73,5 FTU при длительности 1,33 ч, однако в дальней зоне S3 превышение отсутствует,

Увеличение доли тонкой фракции в сценарии S3 повышает пик в В2 до 104,4 FTU и интегральную дозу до 101,1 FTU·ч, а в чувствительной зоне S3 возникает устойчивое превышение: максимум 79,9 FTU и длительность 3,33 ч,

Ветровое вторичное взмучивание (S4) дает нелинейный эффект: при меньшем пике в В2 (95,5 FTU против 104,4 FTU в S3) длительность превышения возрастает до 7,33 ч, а интегральная доза – до 107,4 FTU·ч. Следовательно, оценка воздействия по одному максимуму недостаточна.

Наиболее дальний перенос реализуется в сценарии S5: несмотря на более короткое локальное воздействие в В2 (2,17 ч), максимум в чувствительной зоне достигает 93,6 FTU, а максимальная длина шлейфа возрастает до 5,8 км. На диагностической станции В4 в этом сценарии максимум составляет 79,9 FTU, и порог превышает в течение 1,67 ч.

Таблица 3 – Итоги расчетного эксперимента в ключевых створах

Сценарий	T_{max} в B2, FTU	τ_{70} в B2, ч	D_{70} в B2, FTU·ч	T_{max} в S3, FTU	τ_{70} в B3, ч	$L_{70,max}$, км
S1	48,7	0,00	0,0	34,2	0,00	0,88
S2	73,5	1,33	3,0	54,7	0,00	2,18
S3	104,4	4,83	101,1	79,9	3,33	3,90
S4	95,5	7,33	107,4	76,6	3,33	3,73
S5	106,2	2,17	51,3	93,6	2,33	5,80

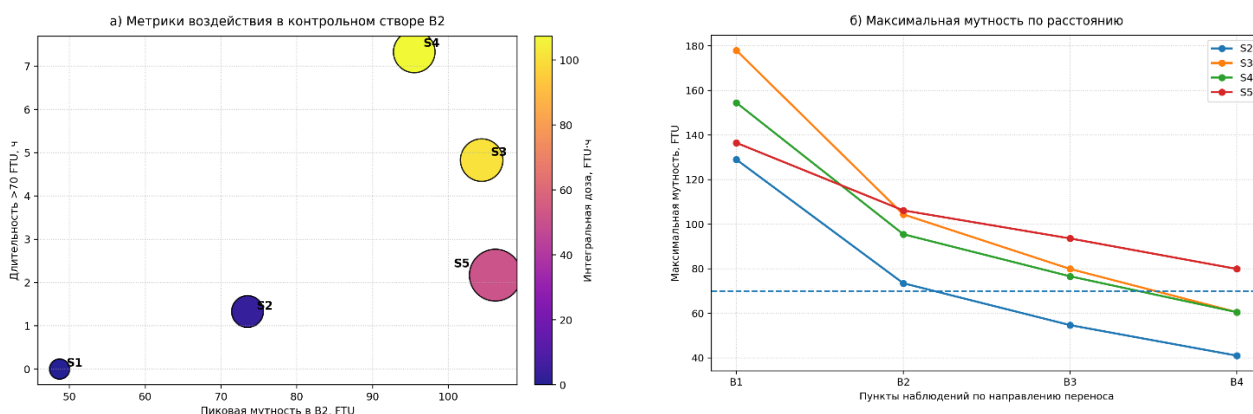


Рисунок 4 – Сценарное сравнение метрик воздействия и изменение максимальной мутности по расстоянию (размер области для метрики воздействия пропорционален $L_{70,max}$)

Предлагаемая схема оперативного реагирования

На основе расчетного эксперимента предлагается трехступенчатая схема реагирования. Предупредительный уровень – превышение 50 FTU в контрольном створе С2 более чем на 30 мин или любое превышение фонового уровня более чем на 20 FTU в ближней зоне В1. В этом случае увеличивается частота пробоотбора и проводится внеочередная проверка состояния датчиков.

Ограничительный уровень – превышение 70 FTU в створе В2 более чем на 2 ч либо любое превышение 70 FTU в чувствительной зоне В3. Для такого режима целесообразно снижать производительность гидронамыва на 25–30 %, корректировать положение пульпопровода и уточнять состав взвеси по экспресс-лаборатории.

Приостановка работ рекомендуется при превышении 100 FTU в створе В2, 80 FTU в чувствительной зоне В3 либо при формировании повторного вторичного пика после ветрового события.

Обсуждение, выводы и рекомендации

Полученные результаты подтверждают, что мониторинг мутности при гидронамыве должен быть ориентирован не на одно значение концентрации, а на событийную структуру воздействия. Сценарии S3–S5 показывают три принципиально разных механизма риска: увеличение тонкой фракции повышает пик, ветровое вторичное взмучивание увеличивает длительность и дозу, а усиление течения переносит риск в дальней зоне. Такой вывод согласуется с представлениями о многомасштабной динамике взвеси и необходимости учитывать не только локальный максимум, но и смену источников и путей переноса [2, 8].

С практической точки зрения это означает обязательное сочетание непрерывных датчиков, дискретного пробоотбора и регистрации течений. Контроль по трем горизонтам особенно важен в мелководных акваториях, где придонная мутность способна существенно превосходить поверхностную. Использование только спутниковых снимков или только лабораторных проб не позволяет решить задачу оперативного управления режимом гидронамыва [4, 5].

Для корректной интерпретации мутности при гидронамыве обязательна локальная калибровка по парным данным «FTU – SSC». В расчетном примере при $SSC = 150$ мг/л оптический сигнал для тонкодисперсной взвеси оказался примерно в 2 раза выше, чем для смешанной. Мониторинговая сеть должна включать не менее одной фоновой, одной ближней операционной, одного контрольного и одной чувствительной станции, а измерения следует выполнять как минимум на трех горизонтах водной толщи. В придонном горизонте контрольного створа В2 максимум мутности изменялся от 48,7 до 106,2 FTU, длительность превышения 70 FTU – от 0 до 7,33 ч, интегральная доза – до 107,4 FTU·ч. Наибольшее дальнейшее воздействие выявлено для сценария сильной адвекции S5: максимум в чувствительной зоне достиг 93,6 FTU, а длина шлейфа возросла до 5,8 км. Ветровое вторичное взмучивание способно сформировать повторный пик мутности почти сопоставимый с первичным (91,3 FTU в В2 через 17,2 ч), поэтому завершение основной технологической операции не должно автоматически считаться окончанием экологического воздействия. Для производственного контроля рекомендуется использовать не только пик мутности, но и длительность превышения порога, интегральную дозу и максимальную длину шлейфа; именно сочетание этих показателей дает основу для обоснованного управления режимом работ.

Список литературы

1. Ляшенко О.А., Педченко А.П., Суслопарова О.Н. Мониторинг состояния фитопланктона Лужской губы Финского залива в условиях природного и антропогенного воздействий // Труды ВНИРО, 2020. Т. 179. С. 149–163.
2. Vercruysse K., Grabowski R.C., Rickson R.J. Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation // Earth-Science Reviews, 2017. Vol. 166. pp. 38–52.
3. Чалов С.Р., Цыпленков А.С. Роль крупномасштабной турбулентности в изменении мутности речных вод // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2020. № 3. С. 34–44.
4. Иванов В.А., Чалов С.Р. Эмпирическая модель распределения взвешенных наносов по глубине крупных рек // Гидросфера. Опасные процессы и явления, 2022. Т. 4. Вып. 2. С. 149–164.
5. Жаданова П.Д., Назирова К.Р. Анализ и верификация алгоритмов определения мутности и концентрации взвешенного вещества, имплементированных в программный комплекс ACOLITE // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2023. Т. 20. № 5. С. 50–68.
6. Афанасьев А.П., Качанов И.В., Шаталов И.М. Методики определения расстояний осаждения взвешенных частиц при дноуглубительных работах на судоходных реках // Вестник Гос-го унив-та морского и речного флота им.адм.С.О.Макарова, 2020. Т. 12. № 2. С. 310–322.
7. De Padova D., Attolico A., Ungaro N. et al. Environmental Management of Dredging Activities: Monitoring System and an Empirical Approach to Estimating Values of Background and Limit Turbidity // Environmental Science Proceedings, 2022. Vol. 21. Article 12.
8. Lloyd C.E.M., Freer J.E., Johnes P.J. et al Using hysteresis analysis of high-resolution water quality monitoring data, including uncertainty, to infer controls on nutrient and sediment transfer in catchments // Science of the Total Environment, 2016. Vol. 543. pp. 388–404.

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ НА НАСЕЛЕНИЕ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Васильев К. В., Наумова Т. В.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»,
г. Москва, Россия

Беспилотные авиационные системы (БАС) стремительно становятся обыденностью – они всё чаще используются для доставки, наблюдения, охраны, и жилые кварталы не исключение. В результате население оказывается под дополнительной техногенной нагрузкой. Возникает вопрос – какие именно факторы, связанные с работой БАС, влияют на человека и каким образом. Современные исследования показывают, что беспилотная авиация должна рассматриваться как новый источник техносферного воздействия, требующий изучения и регулирования [1]. Эти факторы предлагается разделить на четыре группы. А именно: психофизиологические, биологические, химические и физические.

Психофизиологические факторы

Население отвечает на присутствие БАС рядом с жильём тревогой, стрессом, фобиями. Аэрофобия как явление известна давно. В последние годы к ней добавилась дронофобия – страх именно перед беспилотниками. Достаточно увидеть аппарат или услышать о нём, чтобы этот страх проявился. Две основные причины запускают этот механизм. Первая – информационная: постоянные упоминания о боевых операциях с использованием дронов. Вторая – ситуационная: риск аварии и падения аппарата в любой момент. Совокупность этих причин заметно снижает психологический комфорт населения и закрепляет негативное отношение к беспилотной авиации. Подобные реакции также фиксируются при воздействии других техногенных факторов, включая электромагнитные поля, вызывающие стресс и нарушения сна [2].

Химические факторы

Химическое воздействие БАС идёт по двум каналам. Первый – штатная работа двигателей внутреннего сгорания. Вторым – последствия аварий. Из выхлопа двигателей в атмосферу поступают оксид углерода, диоксид углерода, оксиды азота, плюс твёрдые частицы и углеводороды. Когда беспилотников становится много, эти выбросы в сумме уже влияют на состав воздуха. Аварии несут отдельную угрозу. При них выделяются токсичные вещества. Горящие остатки, пролитое топливо, вытекшие техжидкости заражают грунт и водоёмы. А значит, страдают и природа, и люди. Подобные воздействия характерны для урбанизированной среды, где антропогенные факторы изменяют состояние природных компонентов и формируют экологические риски [3].

Биологические факторы

Обусловлены опосредованным воздействием на человека биотических факторов среды обитания, как последствий деградиционных процессов в биоте

вследствие влияния иных факторов. Например, электромагнитное излучение от систем связи и управления дронами и системы подавления сигналов способно уничтожать экосистемную микробиоту [4], а также сбивать навигационные механизмы у птиц и насекомых. Результат – потеря ориентации. Особую чувствительность к данному фактору проявляют перелётные виды, играющие особую планетарную роль в сохранении пищевых цепей и биоразнообразия [5].

Физические факторы

Ключевым физическим фактором воздействия БАС является шум. Уровень звукового давления зависит от типа и назначения беспилотных аппаратов и может варьироваться от 70 дБА для бытовых устройств до 100–110 дБА для специализированных и военных моделей. Шум оказывает непосредственное воздействие на организм человека, вызывая раздражение, снижение работоспособности, ухудшение сна и общее снижение качества жизни. В условиях городской среды дополнительное акустическое воздействие усиливает уже существующую шумовую нагрузку. Согласно исследованиям в области гигиены окружающей среды, шумовое загрязнение является одним из ведущих факторов риска для здоровья населения урбанизированных территорий, что подтверждает значимость данного фактора [6, 7].

Анализ результатов анкетирования

Для оценки восприятия населением факторов воздействия БАС было проведено анкетирование, в котором приняли участие 100 респондентов в возрасте от 18 до 65 лет. Опрос носил анонимный характер. Респондентам был задан вопрос: *«Какой из факторов при возможном использовании БАС в повседневной жизни Вы считаете наиболее опасным?»*. Обработка результатов проводилась с использованием метода среднеарифметического значения коэффициента опасности.

Таблица 1 – Оценка уровня опасного воздействия БАС на человека

Классификация факторов	Коэффициент опасности (k)	Уровень воздействия
Психофизиологические	0,62	Вредный
Химические	0,78	Опасный
Физические (шумовое воздействие)	1,18	Очень опасный
Биологические	0,66	Вредный
Электромагнитные	0,75	Опасный

Классификация уровней опасности проводилась по интервалам:

- $k < 0,5$ – безопасный;
- $0,5 \leq k < 0,7$ – вредный;
- $0,7 \leq k < 0,9$ – опасный;
- $k \geq 1,0$ – очень опасный.

Анализ результатов показал следующее. Физический фактор (шум) имеет $k = 1,18$, то есть категория «очень опасный». Респонденты считают его самым

опасным. В условиях селитебных территорий акустика выступает главным негативным фактором. Перейдём к химическим ($k = 0,78$) и электромагнитным ($k = 0,75$) факторам. Респонденты отнесли их к «опасным». Отсюда следует: население осознаёт экологические и техногенные риски. Психофизиологические ($k = 0,62$) и биологические ($k = 0,66$) факторы тоже оценены. Респонденты отнесли их к категории «вредное воздействие». Вероятная причина – опосредованный и менее выраженный характер этих факторов.

Установлено, что восприятие факторов зависит от возраста и условий проживания респондентов: молодые люди демонстрируют более высокую адаптацию к электромагнитному воздействию, тогда как старшие возрастные группы оценивают его как более значимое. Жители городов, в свою очередь, более адаптированы к шумовой нагрузке по сравнению с сельским населением.

Вывод

Таким образом, эксплуатация беспилотных авиационных систем сопровождается комплексным воздействием на население селитебных территорий, включающим психофизиологические, химические, биологические и физические факторы. На основе проведённого анализа и результатов анкетирования установлено, что наибольшее влияние оказывает шумовое воздействие. В условиях дальнейшего роста применения БАС возникает необходимость разработки мер по снижению негативного воздействия, прежде всего в части нормирования шумовых характеристик и регулирования эксплуатации беспилотных авиационных систем в пределах селитебных территорий.

Список литературы

1. Никитина Н.Г., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г. и др. Исследование электромагнитных полей частотой 50 Гц на селитебных территориях и экспертная оценка состояния здоровья населения // Гигиена и санитария, 2019. Т. 98. № 6. С. 665–670.
2. Наумова Т.В., Васильев К.В. Беспилотная авиация: от истоков до современности // Мат-лы II Межд. конф. Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН, посвященной 300-летию РАН. Москва, 2024. С. 356–358.
3. Наумова Т.В., Васильев К.В. Беспилотная авиация как новый источник техносферной опасности // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сб. тезисов докл. Межд. научно-техн. конф., посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации. Москва, 2023. С. 199–201.
4. Гарицкая М.Ю., Ивлева Я.С., Маркин Д.А. Мониторинг электромагнитного загрязнения урбанизированной территории с использованием геоинформационных технологий // КиберЛенинка, 2016.
5. Петров Ю.В., Занина С.А. Систематизация рисков заболеваний в условиях шумового загрязнения городской среды // Геополитика и экогеодинамика регионов, 2024. Т.10(20). Вып. 4. С. 150–156.
6. Тясто А.А., Куимова М.В. О влиянии шумового загрязнения окружающей среды на здоровье человека // Молодой ученый, 2015. № 10 (90). С. 98–99.
7. Оказова З.П. Шумовое загрязнение как одна из экологических проблем современного города // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 4. С. 540.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОТ ВОДООЧИСТКИ ДО ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Головачева Е. А., Соколов Л. И.

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)», г. Москва, Россия

Введение

Загрязнение водоемов ионами тяжелых металлов (таких как свинец, кадмий, медь) представляет собой серьезную экологическую проблему вследствие их токсичности, способности к биоаккумуляции и устойчивости в окружающей среде [1]. Несмотря на существование различных методов очистки сточных вод (реагентное осаждение, ионообмен, мембранные технологии), многие из них сталкиваются с ограничениями, такими как высокая стоимость, образование вторичных отходов или недостаточная эффективность при низких концентрациях загрязнителей. Биологическая очистка, будучи экономически выгодной для удаления органических веществ, часто не справляется с полным извлечением тяжелых металлов и растворенных биогенных элементов (например, фосфатов), что требует применения стадии глубокой доочистки. На основании вышеизложенного, разработка высокоэффективных, экономичных и экологичных сорбционных материалов для глубокой очистки сточных вод от тяжелых металлов и фосфатов является актуальной научно-прикладной задачей [2]. Природные глинистые минералы, в частности смектитовой группы (например, монтмориллонит), рассматриваются как перспективная основа для таких сорбентов [3, 4]. Это обосновано их доступностью, низкой стоимостью, высокой удельной поверхностью, развитой пористой структурой и способностью к ионному обмену. Многочисленные исследования подтверждают сорбционный потенциал глин в отношении катионов металлов. Механизмы взаимодействия включают физическую адсорбцию, ионный обмен и комплексообразование. Однако эффективность природных, немодифицированных глин часто ограничена их селективностью, емкостью и устойчивостью в широком диапазоне условий. Несмотря на обширные данные о сорбционных свойствах чистых глин, остается недостаточно изученным вопрос целенаправленного создания композитных сорбентов на их основе, модифицированных промышленными отходами (например, льнопроизводства, осадками водоподготовки). Неясно, как именно синергия таких компонентов влияет на микроструктуру, химический состав материала и, как следствие, на его сорбционную емкость, кинетику и механизмы извлечения не только тяжелых металлов, но и анионных загрязнителей, таких как фосфаты. Отсутствие систематических данных по оптимальным параметрам применения таких композитов в технологических схемах очистки также ограничивает их практическое внедрение.

Предмет исследования: физико-химические свойства и экологическая

эффективность глинистых материалов и их модификаций.

Объект исследования: природные глинистые минералы и их композитные формы.

Гипотеза исследования: глинистые материалы при соответствующей модификации могут эффективно применяться как в процессах очистки воды от различных загрязняющих веществ, так и в производстве строительных материалов, что позволяет создать замкнутый цикл их использования в природоохранных технологиях.

Цель исследования

Разработать и исследовать эффективные модифицированные глинистые сорбенты для очистки сточных вод от тяжелых металлов и доочистки биологически очищенных стоков, а также установить корреляцию между составом, структурой (в том числе термическим поведением) разработанных композитов, их сорбционными характеристиками, выявить доминирующие механизмы извлечения загрязняющих веществ и возможности вторичного использования насыщенных сорбентов в строительной индустрии.

Научная новизна

1. Впервые предложена концепция комплексного использования глинистых материалов в природоохранных технологиях.
2. Установлены закономерности влияния модификации на сорбционные и строительные характеристики глин.
3. Разработаны новые композитные материалы двойного назначения.
4. Обоснована возможность рециклинга насыщенных сорбентов в производстве строительных материалов.

Методы исследования: химический анализ; термический анализ; синхронный термический анализ (ТГ/ДСК); сорбционные испытания.

Для исследования глинистых образцов при температурном воздействии были проведены эксперименты с использованием метода синхронного термического анализа, как метода, наиболее точного и применяемого для исследования различных веществ, при этом использовался прибор-термоанализатор. Анализируемую пробу глины с фиксацией веса в мг нагревали в заданном температурном режиме с заданной скоростью в атмосфере инертного газа, фиксировали снижение массы вещества (термогравиметрический анализ – ТГ) и возникающие экзо- и эндоэффекты (дифференциальная сканирующая калориметрия – ДСК). ТГ/ДСК-анализ проводился на термическом анализаторе STA 449 F3 Jupiter фирмы «NETZSCH» (ФРГ). Результаты исследования обрабатывались с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis, версия 6.1.0 в виде графических зависимостей. Условия исследования: нагрев проб проводился до 1200 °С, скорость нагрева составляла 20 °С/мин, продувочный газ печи – воздух с расходом 20 мл/мин., защитный газ весовой части прибора – аргон с расходом 20 мл/мин. Масса образцов – 1,92 мг, 2,75 мг, 3,69 мг. Материал тиглей – корунд.

Анализ образцов глины и процесс их прокаливания проведен методом синхронного термического анализа ТГ/ДСК с получением кривых: ТГ

(интегральная кривая) – изменение массы образца (%) от температуры (°C); ДТГ – первая производная от ТГ-кривой, иллюстрирующая скорость уменьшения массы образца во времени (%/мин.). Результаты изучения образца № 2 представлены на рисунке 2, где можно определить тепловые явления (экзоэффекты) от повышения температуры при сжигании образца глины (синим цветом обозначена кривая тепловых эффектов ДСК, позволяющая оценить экзо- и эндоэффекты (мВт/мг) в зависимости от температуры (°C)).

Результаты исследования

Химические составы образцов глин без учета потерь при прокаливании (ППП), приведенные к 100 % приведены ниже в таблице.

Образец № 1 Дубна (Тульская обл.): SiO₂: 55.0 %, Al₂O₃: 27.4 %, Fe₂O₃: 10.4 %, MgO: 2.0 %, CaO: 0.7 %, Na₂O: 0.1 %, K₂O: 3.5 %, TiO₂: 0.8 %, P₂O₃: 0.1 %, вода гидр.: не определялась, PPP: не определялись.

Образец № 2 Зудна (рисунок 1): SiO₂: 56.7 %, Al₂O₃: 28.0 %, Fe₂O₃: 7.4 %, MgO: 2.2 %, CaO: 0.8 %, Na₂O: 0.1 %, K₂O: 3.7 %, TiO₂: 1.0 %, P₂O₃: 0.1 %, вода гидр.: не определялась, PPP: не определялись.



Рисунок 1 – Внешний вид образца № 2

Образец № 3 Палыгорскит: SiO₂: 55.6 %, Al₂O₃: 13.1 %, Fe₂O₃: 6.1 %, MgO: 9.4 %, CaO: 11.8 %, Na₂O: 0.1 %, K₂O: 3.3 %, TiO₂: 0.5 %, P₂O₃: 0.1 %, вода гидр.: не определялись, PPP: не определялись.

Глины характеризуются устойчивым гранулометрическим составом. Фракция крупнее 0,5 мм содержится в них в количестве 0,5 %, фракция 0,01-0,25 мм – 4,2 %, фракция менее 0,01 мм – 95,3 %. Пластичность глин 19–36, преобладает 25–27. Оптимальная температура вспучивания 1150–1250 °C. Марки керамзита 250–350.

Таким образом, анализ показал: образцы № 1 и № 2 схожи по составу; образец № 3 существенно отличается повышенным содержанием MgO и CaO;

различия в содержании Al_2O_3 и SiO_2 .

По результатам термического анализа установлено:

- Образец № 1 содержит каолинит (до 40 %), гетит, монтмориллонит;
- Образец № 2 имеет схожий состав с меньшим количеством каолинита (до 25 %);
- Образец № 3 преимущественно состоит из палыгорскита (25 %), смектита (50 %) и карбонатов (20 %).

Поведение при обжиге до температуры 1200 °С для соответствующих образцов глин показало:

- № 1 – незначительное увеличение объёма, оплавление;
- № 2 – увеличение объёма глинистого образца более чем в 2 раза, что важно для использования таких глин при производстве керамзитового гравия;
- № 3 – интенсивное оплавление образца с образованием стекловидного слоя.

Анализ термограмм показал, что первичные процессы дегидратации наблюдаются при температурах 146,1 °С, 133,7 °С, 141,5 °С соответственно для образцов № 1, № 2 и № 3, т.е. начальный этап потери массы происходил при относительно низких температурах (130-150 °С). Рисунок 1 отражает происходящие в пробе глины (образец № 2) тепловые процессы, где при температуре 133,7 °С имеет место небольшой эндоэффект (-0,4 мВт/мг), после которого происходят экзо-процессы, сопровождающиеся с нарастающим выделением тепла (от 0,6 мВт/мг при 187 °С до 2 мВт/мг при 400 °С) и связанные с выгоранием органической части образца. Наибольшее выделение тепла совпадает с подготовкой к термодеструкции (448 °С) и с переходом ко второй ступени деструкции – по скорости снижения массы (544 °С). Процесс связан с удалением физически связанной воды скачкообразно.

Второй этап потери массы – дегидратация кристаллизационной воды – происходил в диапазоне 300–450 °С, что характерно для глинистых минералов, а интенсивность процесса зависела от минералогического состава.

Возможный экзотермический эффект в диапазоне 200–300 °С был связан с выгоранием (разложением) органических примесей и проявлялся как снижение массы на термограммах.

Как видно из полученных термограмм, остаточная масса образцов по достижении температуры 670 °С составляет величину 94 % (для образцов № 1, № 2 и № 3), что подтверждает высокую термическую устойчивость со снижением массы, а именно: на 6,26 %, на 5,83 % и на 5,77 % соответственно для образцов № 1, № 2 и № 3. Это свидетельствует о преобладании в образцах минеральной составляющей. Наибольшее снижение массы на 20,74 % зафиксировано для образца № 3 по достижении температуры 1100 °С, а для образцов № 1 и № 2 максимальные значения снижения массы при той же температуре составили соответственно – 12,47 % и 11,87 %. Исследованные образцы глины № 3 имеют плотную структуру, характерную для монтмориллонитовых глин, и при температуре 670 °С показывают невысокие значения снижения массы (5,83 %). Резкая потеря массы для образца № 2 до 11,87 % наблюдается в интервале 700–1100 °С и определяется разрушением

структуры каолинита, потерей конституционной воды, находящейся в кристаллической решетке алюмосиликатных минералов слоистой структуры образцов глины. На графике (рисунок 2), по кривой ДТГ, видно двухступенчатое снижение массы, где две температуры – 250 °С и 550 °С являются критическими при термодеструкции глины. Аналогично выглядит кривая для образца № 1. а для образца № 3 критическими температурами стали 750 °С и 810 °С.

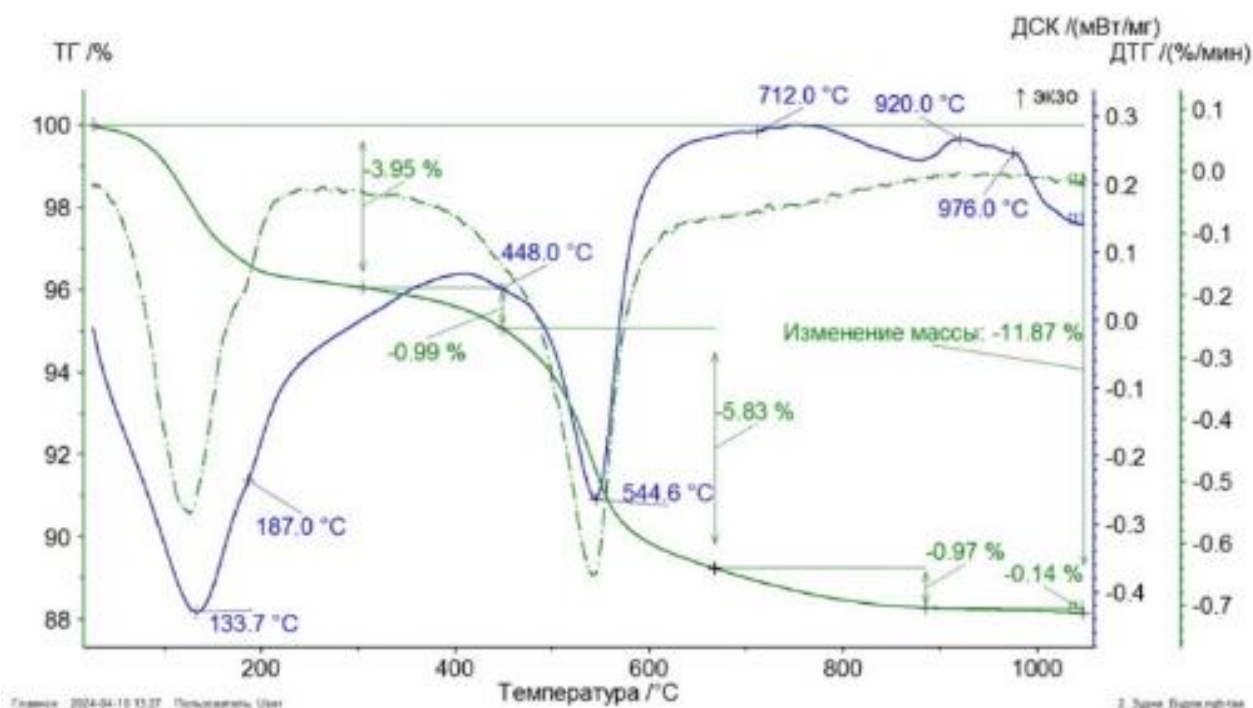


Рисунок 2 – Кривые ТГ/ДТГ/ДСК для глинистого образца № 2

Фазовые превращения для образцов № 1 и № 2 происходят при температурах выше 550 °С, а для образца № 3 – при значениях 750 °С и выше. При этом происходит структурная перестройка, образование новых кристаллических фаз, возникают эндотермические эффекты.

Окислительно-восстановительные процессы проявляются в виде пиков на кривых ДСК, наблюдаются при температурах выше 550–600 °С и связаны с окислением присутствующих примесей. Особенности исследованных образцов: общая потеря массы соответствует типичным значениям для глинистых пород; количество и интенсивность пиков указывают на сложный минеральный состав; плавный характер кривых говорит о равномерном распределении компонентов.

Результаты исследования показали:

- образцы № 1 и № 2 имеют схожий минеральный состав, содержат натриевую форму монтмориллонита, что подтверждается высокой набухаемостью образцов в воде. Водные 5 %-ные суспензии имеют студнеобразный вид в отличие от жидкой, текучей суспензии образца № 3;
- образец № 3 отличается наличием карбонатных примесей MgO и CaO;
- различное поведение глинистых образцов при обжиге обусловлено их минеральным составом.

Исследование свойств глинистых материалов методом синхронного

термического анализа позволило определить химический состав образцов, оценить потенциал материалов для керамического производства и получения сорбентов, выявить характерные особенности поведения глинистых материалов при температурном воздействии и использовать это для обеспечения безопасного технологического процесса получения керамзитового гравия.

Отмечена такая характеристика исследованных глин, как резкое изменение ее морфологических и геомеханических свойств: от твердых, плотных и хрупких при сушке или обжиге до мягких, податливых и набухающих под воздействием воды, что коррелирует с выводами, описанными авторами в статье об исследовании аналогичных показателей [5, 6]. Набухание глины используется в технологиях очистки воды и основано на способности глинистых минералов поглощать воду и увеличиваться в объеме, что позволяет эффективно удалять из воды различные загрязнители. Выделяют два основных механизма набухания глин: кристаллическое (поверхностная гидратация) приводит к относительно небольшому увеличению объема (например, монтмориллонит адсорбирует около 0,5 г воды на 1 г сухой глины, его объем удваивается) и осмотическое (макроскопическое) вызывает значительное увеличение объема (монтмориллонит адсорбирует около 10 г воды на 1 г сухой глины, т. е. его объем возрастает в 20 раз). Набухание глин в водоочистке работает за счёт следующих эффектов: адсорбция загрязнителей, ионный обмен, коагуляция и флокуляция, увеличение вязкости и структурирование.

Наибольшей набухаемостью обладают смектиты (особенно монтмориллонит) благодаря подвижной кристаллической решётке. Менее склонны к набуханию каолинит и гидрослюда. Более дисперсные глины с большой удельной поверхностью набухают сильнее. Смектиты могут содержать до 33% замещенных катионов в своей структуре, что придает им высокую способность к катионному обмену, необходимую для исследований по удалению тяжелых металлов. Наиболее распространенными обменными катионами являются Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . В простейшем варианте все глины имеют алюмосиликатную пластинчатую структуру, состоящую из взаимосвязанных тетраэдров, в которых один катион (в основном Si, Al или Fe) окружен четырьмя атомами кислорода.

Монтмориллониту посвящено большое количество исследований по удалению тяжелых металлов из-за его самого высокого содержания среди всех глин и его распространенности, особенно в бентонитах. Монтмориллонит также обладает самыми мелкими кристаллами и самой большой поверхностью, что способствует увеличению его адсорбционной способности [7, 8, 9]. Поэтому глины (особенно бентониты, содержащие монтмориллонит) используют в водоочистке: в качестве сорбентов в фильтрах и сорбционных барьерах; для коагуляции/флокуляции в сочетании с традиционными коагулянтами (например, солями алюминия или железа); в композитных материалах (например, модифицированные глины с привитыми функциональными группами для селективной сорбции); для очистки сточных вод от тяжёлых металлов, нефтепродуктов, красителей, фосфатов.

Проведенные исследования показали высокую эффективность

разработанных сорбентов в удалении тяжелых металлов из сточных вод. Модификация глинистого сырья дополнительными компонентами, в частности отходами, позволяет: увеличить удельную поверхность материала, улучшить сорбционные свойства, расширить спектр удаляемых загрязняющих веществ. Процесс очистки осуществляется за счет: физической адсорбции загрязняющих веществ; химического взаимодействия (ионный обмен, комплексообразование); капиллярного впитывания в межслоевое пространство.

Модификация глин, в частности добавление водопроводных осадков (20-40 мас.%), повышает сорбционную ёмкость и расширяет спектр удаляемых загрязнителей, включая тяжёлые металлы и фосфаты. Эффективность очистки достигается за счёт адсорбции, ионного обмена и химического взаимодействия. Для фосфатов ключевую роль играет хемосорбция с участием ионов кальция и магния из осадка, позволяя снижать концентрацию до 0,22 мг/дм³.

Выявлены механизмы сорбции: хемосорбция – образование химических соединений с участием ионов кальция и магния из осадков водоподготовки; физическая адсорбция – поглощение фосфатов на развитой поверхности глинистых частиц.

Преимущества такого сорбента: не требует промывки; имеет невысокую стоимость; универсален и прост в использовании; может утилизироваться как насыщенный аммонием и фосфатами компонент почвогрунтов, либо использоваться в качестве добавок при производстве керамзита.

Глинистые минералы обладают развитой удельной поверхностью (15–500 м²/г), что способствует эффективному взаимодействию с растворёнными веществами. Однако для повышения сорбционных свойств требуется их модификация.

Таким образом, глинистые сорбенты, особенно в комбинации с другими компонентами (например, осадками водоподготовки), представляют собой перспективный материал для доочистки сточных вод, а их термографический анализ показывает перспективность использования в качестве сырья при производстве керамзита. Эффективность зависит от минералогического состава глины, степени модификации и соотношения компонентов в составе глинистого сорбента.

Выводы:

– Определены химические составы образцов глин с содержанием SiO₂ 55-57 %, Al₂O₃ 13-28 %, Fe₂O₃ 6-10 %, MgO 2-10 %, CaO 0-12 %, Na₂O 1 %, K₂O 3-4 %, TiO₂ 0–1 %, P₂O₃ 0,1 %.

– Установлена высокая термическая устойчивость образцов с потерей массы не более 12,5 % при 1100 °С, что важно учесть при производстве керамзита.

– Достигнута эффективность очистки от фосфатов до 0,22 мг/дм³ при содержании осадков водоподготовки 20–40 %.

– Определены оптимальные параметры очистки от тяжелых металлов.

– Выявлены механизмы сорбции: ионный обмен, хемосорбция, физическая адсорбция.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность комплексного использования модифицированных глинистых материалов в природоохранных технологиях. Разработанные материалы демонстрируют высокую сорбционную емкость по отношению к различным загрязняющим веществам, возможность повторного использования насыщенных сорбентов в производстве строительных материалов, экономическую целесообразность комплексного подхода к применению глинистых материалов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией технологических параметров модификации, расширением спектра очищаемых загрязняющих веществ, усовершенствованием рецептур строительных композитов, разработкой промышленных технологий комплексного использования глинистых материалов.

Список литературы

1. Исследование эффективности сорбции ионов Cu (II) и Pb (II) нативными формами монтмориллонитовых глин Белгородской области / А.И.Везенцев, Л.Ф.Голдовская, Н.А.Воловичева и др. // Сорбционные и хроматографические процессы, 2008. Т. 8, № 5. С. 807–811.
2. Белецкая В.А. Адсорбционная активность монтмориллонитовой глины // Вестник Белгородского университета потребительской кооперации, 2005. № 3(12). С. 222–225.
3. Вареников А.С., Осипова Е.А. Перспективы монтмориллонитовых глин как экологически чистых сорбентов // Проблемы экологии Южного Урала: сб. мат-лов X Всеросс. научно-практ. конф. с межд. участием, посвященной 25-летию кафедры биологии и почвоведения, Оренбург, 20–21 октября 2021 г. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. С. 117–119.
4. Фидченко М.М., Варнавская А.Д., Алехина М.Б. Гидрофобизация монтмориллонитовой глины путем пиролиза гранулированной смеси глины и шинной крошки // Успехи в химии и химической технологии, 2021. Т. 35, № 13(248). С. 88–90.
5. Куликов В.А., Ковков И.В., Абдрахимов В.З. Исследование кинетики горения углерода в гранулах керамзита на основе монтмориллонитовой глины и отходов углеобогащения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г.Шухова, 2010. № 2. С. 106–109.
6. Изучение вещественного состава природных и модифицированных монтмориллонитовых глин для разработки сорбентов очистки сточных вод / Е.В.Кормош, Т.М.Алябьева, М.Ж.Швецова и др. // Успехи современного естествознания, 2019. № 3-2. С. 145–150.
7. Шаповалов Н.А., Латыпова М.М., Прохина А.В. Исследование возможности модификации поверхности глин монтмориллонитовых минералов для использования в качестве адсорбентов // В мире научных открытий, 2010. № 4-10(10). С. 34–35.
8. Мартынова П.Г., Алехина М.Б., Нефедова Н.В. Модифицирование природных глин для использования в процессах водоочистки // Успехи в химии и химической технологии, 2024. Т. 38, № 5(284). С. 66–69.
9. Влияние условий хранения модифицированных монтмориллонитовых глин на их пористую структуру / Н.Н.Бурмистрова, М.Б.Алехина, Е.Н.Иванова и др. // V Межд. конф.-школа по химической технологии: сб. тез. Докл. сателлитной конф. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Волгоград, 16–20 мая 2016 г. Том 1. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2016. С. 200–201.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАСОСОВ р. НЕВЫ

Зафарзода К., Чусов А. Н.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Несмотря на многолетнюю историю исследований, вопросы генезиса и количественной оценки стока влекомых наносов в нижнем течении Невы остаются изученными не в полной мере. Основные сведения о факторах формирования и объемах транспортируемого материала представлены в работах. Согласно данным Государственного гидрологического института, полученным в 1983 г., годовой объем стока влекомых наносов оценивался в 100 тыс м³.

В последующие десятилетия наметилась устойчивая тенденция к сокращению этого показателя. Ключевым фактором, по-видимому, выступает снижение интенсивности дноуглубительных работ на судоходном фарватере. Работы по увеличению судоходных габаритов, активно проводившиеся в 1960–1980-х годах, а также создание подводных свалок грунта в русле Невы и Шлиссельбургской губе, напротив, служили дополнительным источником поступления твердого материала. В городской черте существенным источником поступления песчано-гравийной смеси ранее являлась деятельность Речного порта (грузовые площадки на правом берегу Невы между Володарским и Финляндским мостами).

В современный период, с учетом прекращения или значительного сокращения указанных видов деятельности, годовая масса влекомых наносов в зоне плотной городской застройки, по оценочным данным, не превышает 65 тыс. т/год, что соответствует среднему расходу 2,06 кг/с. Анализ литодинамических процессов в устьевой части Невы показывает, что поступление взвешенного материала имеет ярко выраженную сезонную и событийную природу. В естественных условиях вода реки отличается низкой мутностью (около 7,0 мг/л), однако в периоды весеннего половодья и летне-осенних паводков левобережные притоки способны повышать этот показатель до 60 мг/л. Основным генератором твердого стока выступает Ладожское озеро: штормовое волнение размывает донные отложения в районе истока, что подтверждается зафиксированным максимумом мутности в 145 мг/л.

Внутригодовой режим характеризуется двумя пиками (июнь, октябрь) и спадами стока в зимний период, что коррелирует с ветровой активностью. Количественные оценки, выполненные для створа Новосаратовки, фиксируют среднемноголетний расход взвешенных наносов на уровне 17,6 кг/с. При прохождении через городскую агломерацию, за счет сбросов сточных и ливневых вод, твердый сток возрастает примерно на 15–20 %. Суммарная нагрузка на основные рукава дельты (Большая Нева, Малая Нева, Невки) оценивается в 21 кг/с, что эквивалентно годовой массе в 660 тыс тонн.

Таблица 1 – Данные о распределении расходов взвешенных наносов на устьевых участках основных рукавов Невской дельты

Водосток	Расход взвешенных наносов, кг/с
Б. Нева	9,52
М. Нева	3,86
Б. Невка	0,73
Ср. Невка	1,43
М. Невка	1,93

При поступлении вод Невы в акваторию Невской губы в штилевых условиях их мутность и прозрачность практически не изменяются. Динамические процессы активизируются при волновом воздействии: ветровое волнение вызывает взмучивание донных отложений, представленных илами и песками. Так, при западном ветре скоростью 10 м/с мутность на отмелях неевского бара возрастает до 20–25 мг/л. Визуальным индикатором служит изменение окраски водной поверхности: отмели идентифицируются по мутной воде белесого оттенка, тогда как над фарватерами сохраняется вода темно-синего цвета. В штормовых условиях на прибрежных отмелях мутность может достигать экстремальных значений – до 1000-1500 мг/л.

Таблица 2 – Распределение влекомых наносов на устьевых участках основных рукавов Невской дельты

Водоток	Скорость, м/с	Вероятный диапазон величин расхода влекомых наносов, кг/с
Б. Нева	0,45	0,85 ÷ 1,00
М. Нева	0,36	0,34 ÷ 0,42
Б. Невка	0,38	0,06 ÷ 0,08
Ср. Невка	0,20	0,12 ÷ 0,16
М. Невка	0,25	0,17 ÷ 0,21

В устьевых областях Малой Невы и Малой Невки литодинамическая обстановка формируется под совокупным влиянием природных и антропогенных факторов. Механизм трансформации твердого стока реализуется по нескольким направлениям. Во-первых, основная масса наносов, поступающих с речным потоком, аккумулируется в Петровском фарватере и в техногенных понижениях рельефа дна (карьерных выемках), что фиксируется по повышению отметок дна в этих зонах. Во-вторых, фарватеры и карьеры выполняют роль ловушек для наносов, перемещающихся со стороны моря и прибрежных отмелей (как с севера, так и с юга). В-третьих, волновая активность инициирует локальные размывы отмелей прибрежных зон Крестовского острова и острова Декабристов, хотя масштабы этой абразии оцениваются как незначительные.

Для количественной оценки направленности и интенсивности переформирования береговой линии в указанном районе (приустьевое взморье) был выполнен анализ картографических материалов, охватывающих длительный временной интервал – с 1899 по 2011 г. (рис. 1–3).



Рисунок.1 – Устьевой участок рр. Малой Невы и Малой Невки. Фрагмент карты 1899 г



Рисунок 2 – Устьевой участок рр. Малой Невы и Малой Невки. Фрагмент карты 1916 г.

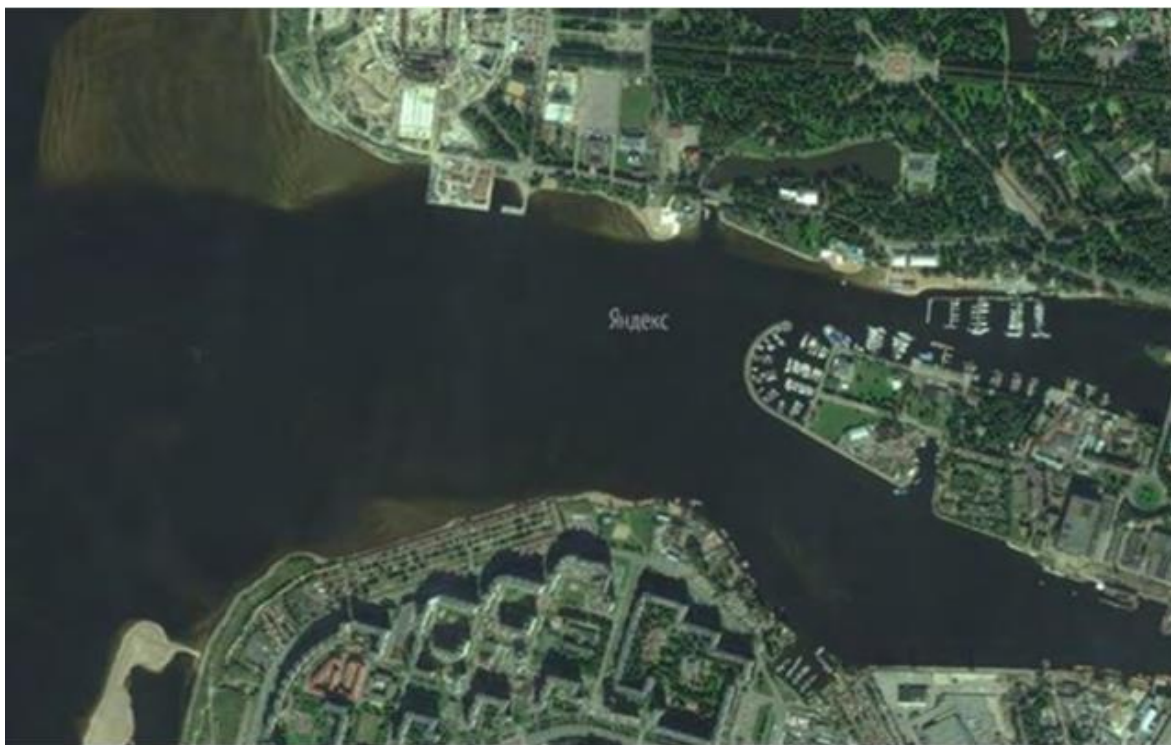


Рисунок 3 – Устьевой участок рр. Малой Невы и Малой Невки. Космоснимок 2011 г.

Сравнительный анализ картографических материалов за период с 1899 по 2011 гг. позволяет сделать следующие выводы относительно динамики береговой линии в районе исследования:

В целом конфигурация береговой линии на рассматриваемой акватории отличается устойчивостью. До середины XX века берег правого берега р. Малой Невки сохранял относительно стабильные очертания, а фиксируемые в последующий период локальные деформации носят преимущественно естественный характер, однако их проявление во многом инициировано антропогенным вмешательством.

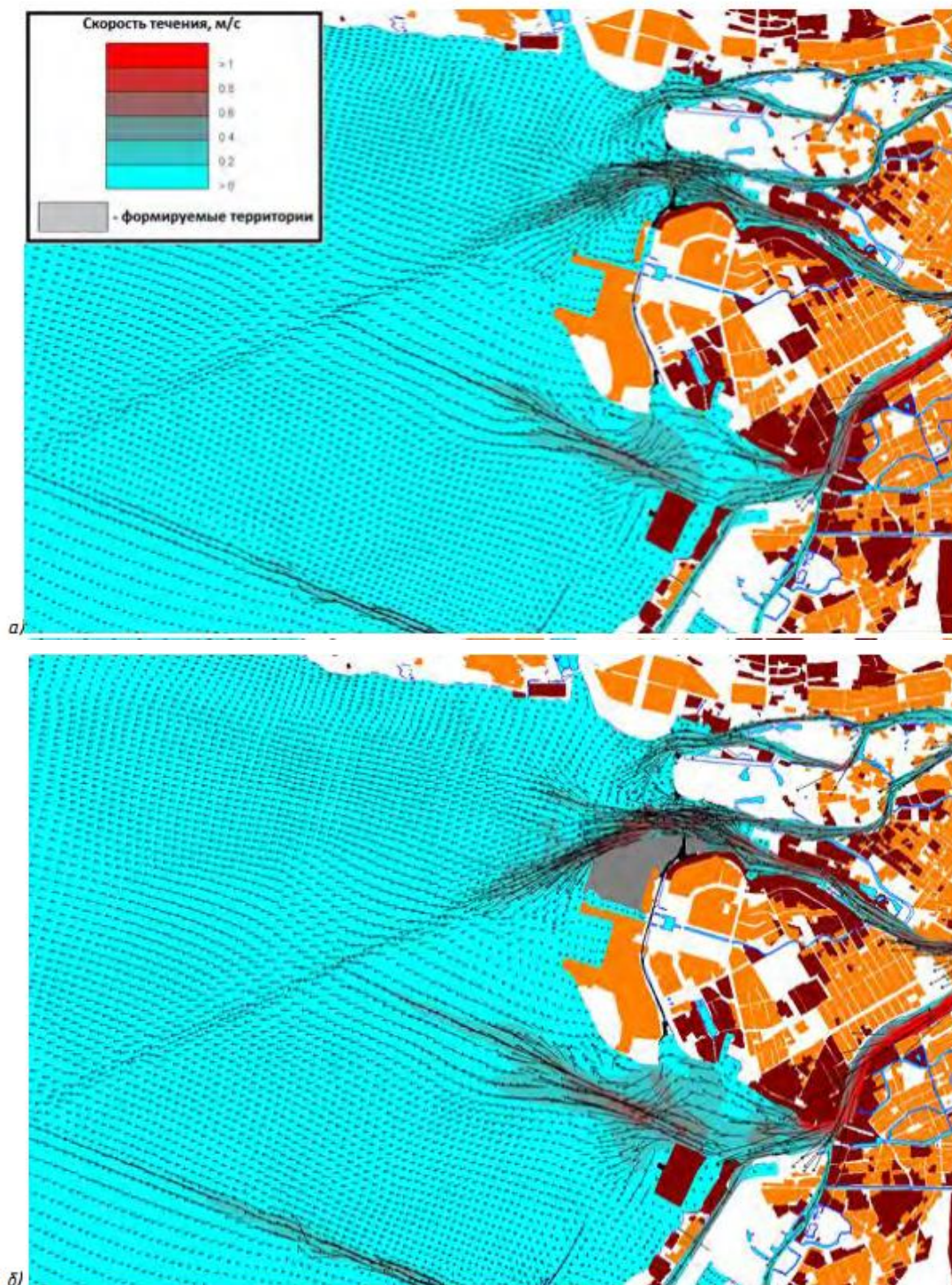
Наиболее существенные изменения плановых очертаний береговой линии связаны с техногенным воздействием. Трансформация берегов сопровождается нарушением естественного режима транспорта наносов: как взвешенных, так и влекомых (донных), перемещаемых вдольбереговым потоком.

На большей части рассматриваемой акватории доминирующим процессом является аккумуляция наносов, наиболее интенсивно проявляющаяся на подводном склоне у правого берега. Накопление твердого материала в границах участка проектирования обусловлено главным образом естественными факторами. На подходе к приустьевому взморью, в зоне сочленения с устьевыми участками Малой Невы и Малой Невки, происходит закономерное снижение скоростей течения, что создает благоприятные условия для осаждения взвешенных частиц и отложения влекомых (донных) наносов.

Критическим параметром, определяющим подвижность донных отложений, является неразмывающая скорость потока. Для песков мелкой и средней крупности пороговые значения неразмывающих скоростей составляют 0,5–0,6 м/с.

Анализ скоростной структуры водного потока показывает, что превышение указанных пороговых значений на исследуемом участке фиксируется

преимущественно в сгонные фазы режима. Как следует из рисунка 6.45, при сгонных явлениях формируются зоны повышенных скоростей (свыше 0,5 м/с), локализованные в пределах Петровского фарватера, на его бровках, а также на северной и северо-западной границах формируемых участков. В этих зонах активизируется грядовое движение наносов, ориентированное по направлению потока, что обуславливает знакопеременные деформации дна амплитудой, сопоставимой с высотой гряд (0,75–1,00 м).



**Рисунок 4 – Изолинии скоростей течения превышающих неразмывающую скорость в пределах устьевого участка рр. Малой Невы и Малой Невки в условия спада уровней в Невской губе (расход воды р. Невы 3400 м³/с, уровень воды Невской губы «минус» 1,28 м БС):
а) современные условия; б) проектные условия**

Проведенный анализ позволяет охарактеризовать основные закономерности формирования и распределения твердого стока р. Невы в устьевой области. Установлено, что поступление взвешенных наносов имеет преимущественно событийный характер, определяемый штормовым размывом отложений в истоке из Ладожского озера и паводковой деятельностью притоков, тогда как сток влекомых наносов в современных условиях значительно сократился вследствие снижения антропогенной нагрузки (дноуглубления, грузовых работ). Выполненные количественные оценки показали, что суммарный расход взвешенных наносов по основным рукавам дельты составляет 21 кг/с (660 тыс т/год), а диапазон вероятных расходов влекомых наносов варьирует от 0,06 до 1,00 кг/с в зависимости от гидравлических характеристик потока. Литодинамическая обстановка в устьевых частях Малой Невы и Малой Невки характеризуется преобладанием аккумулятивных процессов, локализованных в техногенных понижениях рельефа, при этом плановые деформации береговой линии, фиксируемые по картографическим материалам за 1899–2011 гг., обусловлены главным образом антропогенным воздействием, нарушающим естественный вдольбереговой транспорт наносов.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании русловых деформаций и проектировании гидротехнических сооружений в пределах Невской дельты.

Список литературы

1. Гидрология устьевой области р. Невы / под ред. С.С. Байдина.– М.: Гидрометеиздат, 1965. 383 с.
2. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа.– Л.: Гидрометеиздат, 1981. 112 с.
3. Обследование участков русла р. Невы в районах подводных переходов газопроводов с целью разработки рекомендаций по учету режима донных деформаций при эксплуатации подводных переходов: отчет о научно-исследовательской работе. Л.: ГГИ, 1983.
4. Баженов В.К., Червонцева М.А., Топал Г. Создание искусственных земельных участков на землях водного фонда // Вестник Московского информационнотехнологического университета – Московского архитектурно-строительного института, 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-iskusstvennyh-zemelnyh-uchastkov-na-zemlyah-vodnogo-fonda>.
5. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. СПб, 2007. Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/>.

УДК 351, 628.147.22, 621.311

МОДЕЛЬ КОРРОЗИИ БАШЕН ШУХОВА В НИЖЕГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Иванов А. В., Зайцев А. А., Иванова М. А., Маев М. Р., Колос С. М., Молодцов И. Д.
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Нижний Новгород, Россия

Введение

Интерес к сохранению наследия великого инженера В.Г. Шухова стал всемирным после публикации книги крупнейшего исследователя творчества

русского гения профессора Р. Грефе и драматической истории по спасению одной из шести гиперболических опор ЛЭИ на берегу Оки [1]. Волна интереса позволила выявить и сохранить 5 творений Шухова, созданных на нижегородской земле. В числе выявленных и внесенных в число объектов культурного наследия 14-метровая пожарная каланча в Ляхове Балахнинского городского округа, внесенная в число объектов культурного наследия в 2021 г. Башня в посёлке Ляхово высотой 14 метров и диаметром в основании 3,3 метра состоит из 24 металлических стержней и семи горизонтальных колец, четырех лестничных маршей с деревянными площадками и деревянной смотровой будкой (см. рисунок 1 слева). В 2025 г. завершена реконструкция этой башни и выполнена ее антикоррозионная защита [2].



Рисунок 1 – Четырнадцатиметровая пожарная каланча в Ляхове Балахнинского городского округа (слева) и 20-метровая пожарная вышка на ул. КИМа в Нижнем Новгороде (справа)

20-метровая пожарная вышка на ул. КИМа в Нижнем Новгороде была сооружена в конце 19 века [3]. Гиперболоид башни состоит из 32 вертикальных стержней с 12 горизонтальными кольцами. Элементы башни соединяются между собой клепками, как и каланча возле Ляхова (см. рисунок 1 справа). Размещение башни на ул. КИМа в непосредственной близости от дороги подвергает этот объект риску повреждения от коррозии.

Сравнительный анализ расположения и состояния двух выбранных объектов позволит более детально оценить перспективы сохранения наследия Шухова в регионе, где они сохранились наиболее компактно: четыре шуховских объекта в Нижегородской области расположены на удалении не более 200 км друг от друга, что позволяет их посетить в течение одного дня.

Коррозия как фактор разрушения уникальных металлических конструкций. Возведение конструкций со стальным каркасом началось в середине 19 века в результате развития сталелитейной промышленности. Появились стальные мосты и башни, одним из факторов повреждения которых стала коррозия. В качестве наиболее известного примера обычно приводят

данные о том, что Эйфелеву башню за 137 лет пришлось красить 20 раз, на что было использовано около тысячи тонн краски. При этом согласно докладу о состоянии башни 2014 году на ней были трещины и ржавчина, а доклад, сделанный в 2016 году, обнаружил 884 дефекта, в том числе 68, которые, как утверждается, представляют риск для «долговечности» конструкции [4]. Степень поражения коррозией исследуемых объектов представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Фрагменты конструкций, пораженные коррозией на башне в Копосове (сверху) и защищенные после реконструкции башни в Ляхове (снизу)

Модель рассеивания вызывающих коррозию веществ. В условиях Нижнего Новгорода фоновый уровень вызывающих коррозию веществ формируется высокими стационарными источниками и линейными источниками – автомобильными дорогами. При этом линейные источники вносят основной вклад в локально неоднородные территории, прилегающие к дорогам. К числу вызывающих коррозию веществ в выбросах автотранспортных потоков относятся соединения серы, в первую очередь диоксид серы. В России принят стандарт ГОСТ Р 56162-2019 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории» [5]. Согласно этому стандарту могут быть выполнены расчеты массы выбросов соединений серы транспортным потоком с учетом его структуры по типам автотранспортных средств и по характеру движения на прямолинейных участках и в зоне действия запрещающих сигналов светофоров.

Выбросы загрязняющих веществ q (г/с) от движущегося автотранспорта фиксированной протяженности L км вычисляют по формуле:

$$q = \left(\frac{L}{1200}\right) * \sum_{k=1}^5 M_i * G_i * r_v \quad (1)$$

где M_i – удельный пробеговый выброс автомобилей i -той группы; G_i – максимальная

интенсивность движения по всем полосам во всех направлениях; γ_v – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения автомобилей, которая в реальном времени берется из Интернета с помощью парсинга.

Таблица 1 – Значения удельных пробеговых выбросов диоксида серы для различных групп автомобилей

Наименование группы автомобилей	Номер группы, i=	Выброс, г/км SO ₂
Легковые	1	0,66 10 ⁻²
Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 т	2	1,40 10 ⁻²
Грузовые массой от 3,5 до 12 т	3	2,60 10 ⁻²
Грузовые массой свыше 12 т	4	3,90 10 ⁻²
Автобусы массой свыше 3,5 т	5	2,20 10 ⁻²

На основе расчета массы выбросов каждые 20 минут выполняется в реальном времени расчет концентрации диоксида серы от линейного источника по гауссовой модели рассеивания для расстояния до исследуемого объекта от кромки дороги и для высот от основания до вершины [6].

Таблица 2 – Значения поправочных коэффициентов γ_v , учитывающих среднюю скорость движения V на выбранной автомобильной дороге

Скорость движения V , км/ч	γ_v
5	1,40
10	1,35
15	1,30
20	1,20
25	1,10
30	1,00
35	0,90
40	0,75
45	0,60
50	0,50
55	0,40
60	0,30

$$C = \frac{2 \cdot q}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_z \cdot v \cdot \sin \varphi}} + F \quad (2)$$

где: C – концентрация данного вида загрязнения в воздухе, мг/м³; σ_z – стандартное отклонение Гауссова рассеивания в вертикальном направлении, м (принимается по таблице 5); v – скорость ветра, преобладающего в расчетный месяц летнего периода, м/с; φ – угол, составляемый направлением ветра к трассе дороги. При угле от 90° до 30° скорость ветра следует умножать на синус угла, при угле менее 30° – на коэффициент 0,5; $F = 0,002$ – фоновая концентрация загрязнения воздуха, мг/м³.

Для башни на ул. КИМа в простейшей модели дорога направлена в северо-западном направлении. При западном, юго-западном и южном ветре выбросы от дороги направляются на удаленную от башни сторону дороги,

оставляя в зоне башни лишь фоновое загрязнение.

Для расчета необходимо получение актуальных значений скорости и направления ветра, которые считываются в режиме реального времени с метеорологического ресурса. Кроме того, на основе сопоставления с критериями таблицы 3 рассчитывается стандартное отклонение гауссова рассеивания в вертикальном направлении σ_z , м [7]:

$$\sigma_z = a * x^b \quad (3)$$

Параметры a b для расчета стандартного отклонения гауссова рассеивания в вертикальном направлении σ_z представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Класс устойчивости атмосферы Пэскуила

Скорость ветра, м/с	Дневное время Уровень солнечного освещения			Ночное время Облачность	
	Сильный	Средний	Слабый	>50%	<50%
V < 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Таблица 4 – Параметры a , b для расчета стандартного отклонения гауссова рассеивания в вертикальном направлении σ_z ,

Класс устойчивости	Расстояние от кромки дороги, х, м	a	b
A	$x < 100$	122,800	0,94470
B	$x < 200$	90,673	0,93198
C	$x < 30000$	61,141	0,91465
D	$x < 300$	34,459	0,86974
E	$x < 100$	24,260	0,83660
F	$x < 200$	15,209	0,81558

На основе представленных в таблице 5 значений σ_z в реальном времени по актуальным метеорологическим параметрам выбирается один из шести классов устойчивости (см. таблицу 3) и $\sin \varphi$.

Таблица 5 – Рассчитанные значения стандартного отклонения сигма σ_z для приземного яруса шуховской башни на ул. КИМа от ближайшей к дороге до самой удаленной от дороги точки на металлическом каркасе каланчи для всех классов Пэскуила

х, м	13,5	16,0	18,5
A	2,10	2,47	2,83
B	1,64	1,92	2,20
C	1,19	1,39	1,59
D	0,82	0,94	1,07
E	0,66	0,76	0,86
F	0,45	0,52	0,59

В качестве примера на рисунке 3 приведем расчеты для наименее благоприятных условий $\sin\varphi=0,5$, класс устойчивости F, скорость ветра – 1 м/с, что может наблюдаться зимой в 7:00 при часто встречающемся в Заречной части города северо-западном направлении ветра.

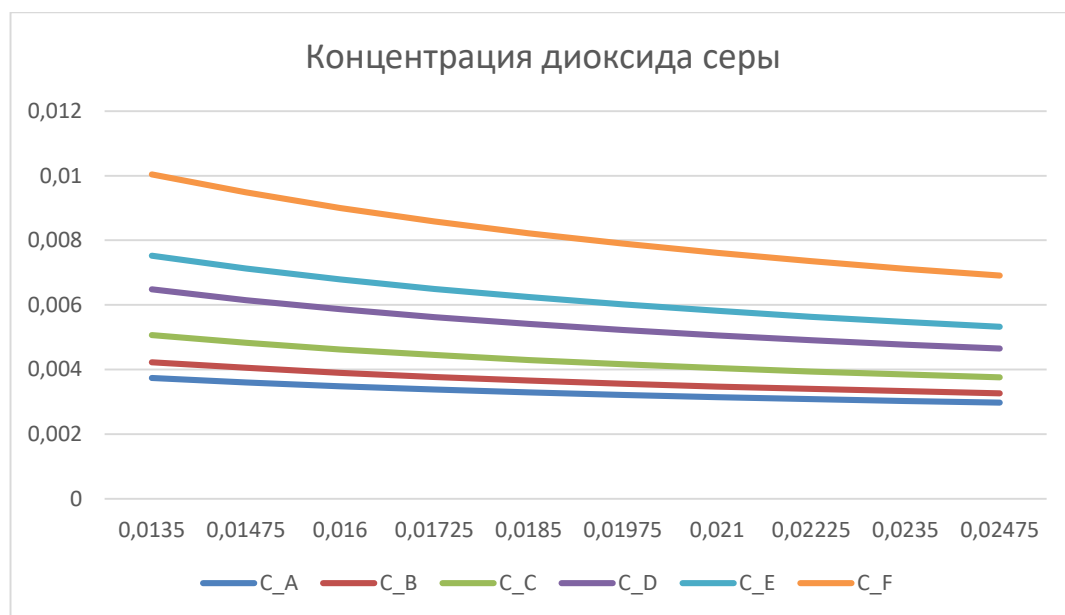


Рисунок 3 – Концентрация диоксида серы (мг/м³) в приземном слое в пределах башни на ул. КИМа при различных классах устойчивости атмосферы

На рисунке 4 представлены результаты расчета концентрации для различных горизонтов башни для умеренной конвекции, класс устойчивости B. Как видно из расчетов, в наибольшей мере коррозии подвержен нижний ярус. С учетом результатов расчета на рисунке 3, более высокий уровень коррозии следует ожидать со стороны дороги.

Для башни в Ляхове аналогичные расчеты не проводились, так как транспортные потоки возле этого объекта отсутствуют. Поэтому уровень загрязнения принимаем равным фоновому в Нижнем Новгороде, то есть 0,002 мг/м³.

Результаты моделирования, выводы

Представленные результаты позволяют рассчитывать коррозионную нагрузку на шуховскую башню на ул. КИМа поэлементно, то есть на каждый из стержней и на каждое связующее стержни горизонтальное кольцо. Среднесуточная концентрация зависит от сезона, зимой чаще инверсия температуры и преобладание северо-западного ветра, что даст среднесуточную приземную концентрацию примерно на уровне ПДК. Для ляховской башни среднесуточная концентрация окажется на уровне 0,5 ПДК_{сс}. Это дает возможность получить прогноз коррозии на несколько лет вперед. Сравнительный онлайн мониторинг состояния башен и результаты обработки информации специализированным Интернет-ресурсом будут представлены в следующей работе.

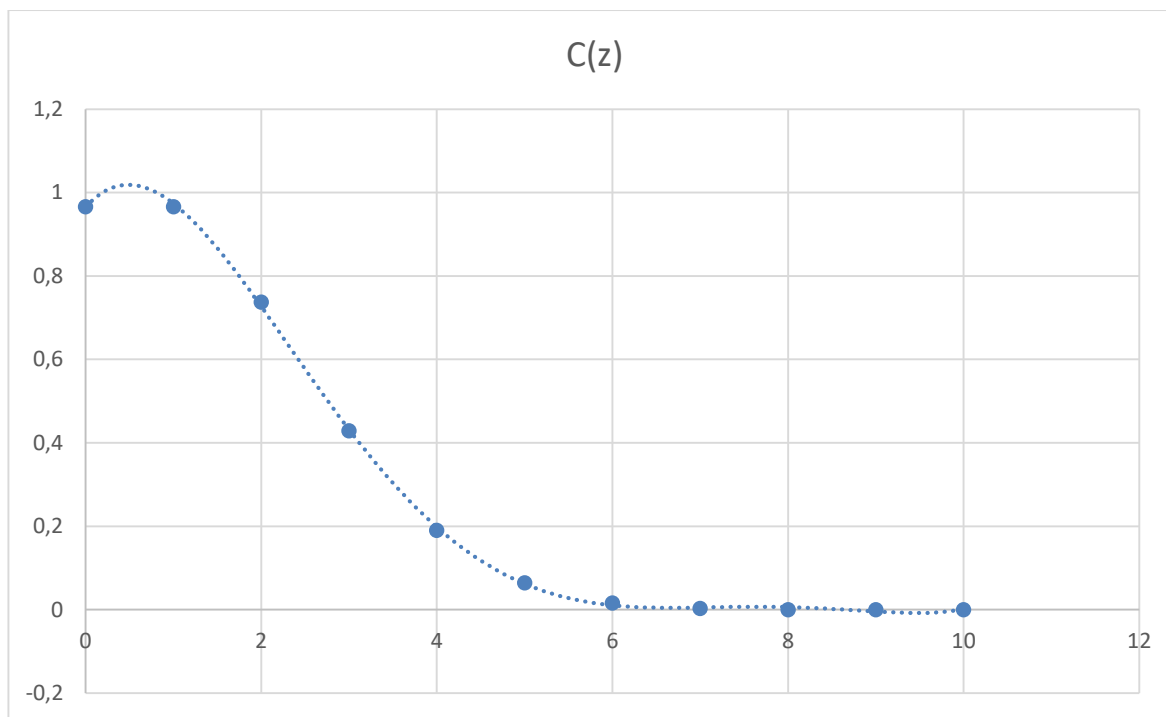


Рисунок 4 – Концентрация диоксида серы (мг/м³) на высоте от 0 до 12 м для центральной части каланчи на КИМа при умеренной конвекции (класс В)

Список литературы

1. Райнер Грефе, Отмар Перчи, Эрика Грефе и др. Гений легких конструкций. Владимир Шухов (1853-1939): в 2 томах Москва: Связь эпох, 2024.
2. Завершена реставрация объекта культурного наследия «Пожарная каланча конструкции инженера Шухова В.Г.» в Балахнинском округе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nobl.ru/novosti-nizhegorodskoj-oblasti-za-vse-vremya/zavershena-restavratsiya-obekta-kulturnogo-naslediya-pozharnaya-kalancha-konstruktsii-inzhenera-shukhova>.
3. Стальные ажурные. Сооружения Владимира Шухова в Нижегородской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/8269561>.
4. Eiffel Tower riddled with rust and in need of repair, leaked reports say URL: <https://www.theguardian.com/world/2022/jul/04/eiffel-tower-riddled-with-rust-and-in-need-of-repair-leaked-reports-say>.
5. ГОСТ Р 56162-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. Стандартиформ, Москва, 2019.
6. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. Министерство транспорта РФ, Федеральный дорожный департамент. М, 1995.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Гидрометеиздат. Ленинград, 1985. 272 с.
8. Ivanov A., Ivanova M. Online services for urban environment monitoring. 24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2024. Conference Proceedings, 2024. Vol. 24. Issue 2.1.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ МОДУЛЯМИ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Карташов М. А., Масликов В. И.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Инженерно-строительный институт, Высшая школа гидротехнического и энергетического
строительства, г. Санкт-Петербург, Россия

Основная часть

Важным этапом разработки методики по оценке воздействия СЭС на ОС является формирование базы данных, содержащей энерго-геоэкологические характеристики основных этапов жизненного цикла ФСМ (таблица 1). В данной статье будет рассмотрен **Блок 1. Производство материалов**.

**Таблица 1 – Структура базы данных энерго-геоэкологических
показателей жизненного цикла ФСМ**

Блок 1. Производство материалов	
Базовый показатель	Количественная характеристика
Материалоемкость	Масса материалов, используемых для производства элементов панели
Энергоемкость	Количество энергии, затраченной на производство элементов панели
Загрязнение окружающей среды при производстве солнечных панелей	Эмиссия вредных веществ в окружающую среду при производстве панели (окислы углерода, серы и др.)

1. Материалоемкость элементов конкретного ФСМ принимается по листу технической информации фирмы изготовителя.

В качестве примера был выбран ФСМ HI-MO 7 LR5-72HGD 590M, мощностью 590 Вт. В таблице 2 приведены показатели материалоемкости:

Таблица 2 – Материалоемкость элементов ФСМ

Наименование	Мощность, Вт	Наименование элемента	Масса, кг
ФСМ HI-MO 7 LR5-72HGD 590M, 2278 x 1134 x 30 мм	590	Рама алюминиевая	4,8
		Закалённое стекло	14
		Слой напыления	1
		Кремниевые ячейки	10
		Изоляционный слой	1
		Блок соединений и выходной кабель	1
Итого:			31,8

Удельная материалоемкость ФСМ на 1 Вт мощности составляет 0,0539 (кг/Вт).

2. Определение энергоемкости элементов ФСМ.

Удельные энергозатраты при производстве кремниевой ячейки, с учетом

очистки материала [1] определяются с использованием зависимости (1)

$$E_{\text{общее}} = E_{\text{хим. реакция}} + E_{\text{дистилляция}} + E_{\text{восстановление}} + E_{\text{доп. потери}} \quad (1)$$

где: $E_{\text{общее}}$ – суммарные энергозатраты на производство 1 кг поликремния (кВт·ч/кг);

$E_{\text{хим. реакц.}}$ – энергия на синтез 1 кг трихлорсилана (~20 кВт·ч/кг);

$E_{\text{дистилляция}}$ – энергия на дистилляцию и очистку 1 кг трихлорсилана (~15 кВт·ч/кг);

$E_{\text{восстановление}}$ – энергия на восстановление 1 кг кремния в реакторе Сименса (~110 кВт·ч/кг);

$E_{\text{доп. потери}}$ – дополнительные потери энергии (~10 кВт·ч/кг).

Удельная энергоёмкость кремниевой ячейки составит:

$$E_{\text{общее}} = 20_{\text{синтез}} + 15_{\text{дистилляция}} + 110_{\text{восстановление}} + 10_{\text{доп. потери}} = 155 \left(\text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{кг}} \right) \quad (2)$$

Тогда энергоёмкость кремниевой ячейки с массой кремния 10 кг, мощностью 590 Вт:

$$E_{\text{кремний}} = 10 \text{ (кг)} \cdot 155 \left(\text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{кг}} \right) = 1550 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (3)$$

Соответственно, удельная энергоёмкость кремниевых ячеек на 1 Вт мощности составит:

$$E_{\text{уд. кремний}} = \frac{1550}{590} = 2,627 \left(\text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{Вт}} \right) \quad (4)$$

В таблице 3 приведены значения энергоёмкости элементов ФСМ.

Таблица 3 – Энергоёмкость элементов ФСМ 590 Вт

Наименование элемента	Масса элем., кг	Удел. энергоёмк. элем., кВт·ч/кг	Энергоёмк. элем. кВт·ч	Удел. энергоёмк. на 1 Вт мощн. пан., кВт·ч/Вт
Рама алюминиевая	4,8	55 *	246	0,416
Закалённое стекло	14	7,28 *	95	0,161
Слой напыления	1	20 *	19	0,032
Кремниевые ячейки	10	155 **	1550	2,627
Изоляционный слой	1	20 *	19	0,032
Блок соед. и вых. каб	1	20 *	19	0,032
Итого:	31,8	-	1948	3,3

Ввиду небольшой удельной энергоёмкости остальных элементов ФСМ их значения принимались по укрупненным показателям, приведенных в источнике [2, 3, 4]. * *Укрупнённый показатель* ** *Расчетный показатель*.

Анализ данных таблицы 3 показал, что энергозатраты на производство кремниевой ячейки составляет 92 % от общих по ФСМ, поэтому, детальные расчеты энергозатрат целесообразны только для кремневой ячейки.

3. Определение эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух при производстве ФСМ.

При производстве 1 кг кремния ориентировочный расход электроэнергии составляет 0,345 кг у.т. (условного топлива) в угольном эквиваленте. При сжигании 1 кг у.т. (угля) выбросы CO₂ составляют 2,76 кг [5]. Соответственно, при производстве 10 кг кремния выбросы углекислого газа составят (5):

$$M_{ij} = m_{ij}^{\text{мат}}(e_{ij}) * A_{ij}^{\text{мат}} \quad (5)$$

где: A_{ij} – коэффициент эмиссии j -го вещества при производстве i -материала, учитывающий воздействие на окружающую среду, равный 0,952;

m_{ij} – масса j -го вещества при производстве i -материала;

e_{ij} – удельная энергоёмкость элемента.

Определяем эмиссию CO₂ (парниковый газ) и SO₂, (распространенный загрязнитель, вызывающий заболевания, особенно у чувствительных групп населения) с использованием данных, приведенных в [6].

Эмиссия CO₂ при производстве кремниевой ячейки, мощностью 590 Вт составят:

$$M_{ij\text{крем}} = 10 * 155 * 0,345 * 2,76 = 1475,9 \text{ кг CO}_2\text{экв} \quad (6)$$

Тогда удельная эмиссия на 1Вт мощности:

$$M_{ij} = \frac{m_{ij}^{\text{мат}}(e_{ij}) * A_{ij}^{\text{мат}}}{590} = 2,501 \text{ кг CO}_2 \left(\frac{\text{экв}}{\text{Вт}} \right) \quad (7)$$

Произведен расчет эмиссии SO₂ для кремния, по формуле 6, с учетом, что при сжигании 1 кг угля на ТЭС выбросы составляют 8,8 кг SO₂, тогда эмиссия будет равна 4705,8 кг SO₂ экв. В таблице 4 приведены коэффициенты эмиссий загрязняющих веществ из справочников. Сравнив получившиеся расчетные и табличные значения, можно сделать вывод, что расчет достоверный, принять во внимание факт, что значение 0,952 было взято для угля и является наивысшим, в отличие от средних значений в таблице.

В таблице 4 представлены значения эмиссии CO₂ и SO₂ для ФСМ HI-MO 7 LR5-72HGD 590M [7, 8, 9].

Таблица 4. Эмиссии при производстве элементов ФСМ, мощностью 590 Вт

Наименование элемента	Масса элем., кг	Коэфф. эмиссии загрязняющих вещ-в		Эмиссия загр-щих веществ		Удел. эмиссия	
		кг CO ₂ экв/кг	кг SO ₂ экв/кг	кг CO ₂ экв	кг SO ₂ экв	кг CO ₂ экв/Вт	кг SO ₂ экв/Вт
Рама алюминиевая	4,8	8–12	0,3-0,6	48	2,4	0,081	0,004
Закалённое стекло	14	1,2–1,5	0,05-0,1	18,9	0,98	0,032	0,002
Слой напыления	1	3–5	0,02-0,05	4	0,035	0,007	0,0001
Кремниевые ячейки	10	80–120	0,1-0,3	1000	2	1,695	0,003
Изоляционный слой	1	3–5	0,02-0,05	4	0,04	0,007	0,0001
Блок соедин. и вых. каб	1	2,2–2,5	0,03-0,06	2,4	0,05	0,004	0,0002
Итого:	31,8	-	-	1077,3	5,05	1,826	0,0093

С использованием приведенной методики определены значения эмиссии

CO₂ и SO₂ при производстве ФСМ: SilaSolar 900Вт TOPCon, LR4-60HPB-360W и SM 100M-36B, определена материалоемкость и энергоёмкость элементов, произведено сравнение показателей в таблице 5.

Таблица 5 – Удельные показатели материалоемкости, энергоёмкости, эмиссии загрязняющих веществ ФСМ

Наименование показателя	Мощность ФСМ, Вт			
	900	590	360	100
Удельная материалоемкость, кг/Вт	0,0422	0,0539	0,0661	0,0800
Удельная энергоёмкость, кВт·ч/Вт	1,392	3,300	3,335	4,205
Удельная эмиссия кг CO ₂ экв /Вт	0,493	1,826	1,704	2,198
Удельная эмиссия кг SO ₂ экв /Вт	0,0093	0,0093	0,01	0,012

Наиболее близкие значения удельных показателей имеют ФСМ мощностью 590 и 360 Вт. По материалоемкости их разница составляет около 11 %, по остальным показателям порядка 7 %. Наихудшие удельные показатели имеет ФСМ мощностью 100 Вт. По сравнению с рассмотренными ФСМ ее материалоемкость на 32 % больше, соответственно больше на 22 % энергоёмкость и эмиссии загрязняющих веществ.

Выводы

1. Предложена методика оценки удельной эмиссии загрязняющих веществ при производстве элементов ФСМ на основе произведенных расчетов их материалоемкости, энергоёмкости, эмиссии загрязняющих веществ для четырех ФСМ различной мощности при формировании блока 1 (производство материалов).

2. Анализ полученных данных показал (таблица 5), что близкие значения удельных показателей имеют ФСМ мощностью 590 Вт и 360 Вт, поэтому при укрупненных расчетах энерго-геоэкологических характеристик целесообразно выделять диапазон мощностей ФСМ примерно одинаковых удельных показателей. Результаты данной работы могут быть использованы для определения вышеперечисленных показателей при создании солнечных установок, состоящих из ФСМ мощностью от 100 Вт до 900 Вт.

Список литературы

1. Fthenakis V., Kim H.C. Photovoltaics: Life-cycle analyses // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol. 15, No. 3. pp. 1799–1808.
2. Energy Analysis of Solar Drying Systems. URL: https://ebrary.net/158458/environment/energy_analysis_solar_drying_systems (дата обращения: 03.04.2025).
3. Antelava A., Jablonska N., Constantinou A. Energy potential of plastic waste valorisation: a short comparative assessment of pyrolysis versus gasification // Energy & Fuels. 2021. Vol. 35, No. 5. pp. 3558–3571.
4. Wambach K., Heath G., Wade A.et. al. Life Cycle Inventory of Current Photovoltaic Module Recycling Processes in Europe: отчет NREL/TP-6A20-70892. Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2018. 39 p.
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 г. № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов

парниковых газов и поглощений парниковых газов» // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034?index=6> (дата обращения: 03.04.2025).

6. Брагина О.Н., Чугаева А.Н., Иванова А.А. и др. Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок: учебно-метод. пособие; разраб. в рамках выполнения Соглашения с Минобрнауки России № 14.U02.21.0665 от 17 августа 2012 г.; ОАО «ВТИ». Москва, 2013. 35 с.

7. Carrillo Usbeck V., Pflieger J., Sun T. Life Cycle Assessment of Float Glass: Summary Report. November 2010 (revised February 2011). URL: https://www.academia.edu/43275390/Life_Cycle_Assessment_of_Float_Glass (дата обращения: 03.04.2025).

8. Peng T., Ren L., Du E. et al. Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Primary and Recycled Aluminum in China // Processes, 2022. Vol. 10, No. 11. Art. 2299.

9. de Wild-Scholten M., Glöckner R. Environmental footprint of Elkem Solar Silicon // Silicon for the Chemical and Solar Industry XI: Conference Proceedings, Bergen-Ulvik, Norway, June 25–29, 2012. pp. 12–16.

УДК 502/504

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Лугаськова Н. В., Верлан В. С., Петров Г. В., Прокопьева К. А.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»,
г. Екатеринбург, Россия

Очистка стоков на железнодорожном транспорте – острая экологическая проблема: ежегодно предприятия отрасли сбрасывают десятки миллионов кубометров вод. К вредным компонентам, содержащимся в сточных водах локомотивных и вагонных депо, локомотивно-вагоноремонтных заводов, промывочно-пропарочных пунктов, гальванических, аккумуляторных и других цехов являются различные по природе взвешенные частицы, нефтепродукты, фенол, соли тяжелых металлов, ПАВ, лакокрасочные материалы, кислоты, щелочи [1]. Изношенные очистные сооружения не справляются с задачей – стоки попадают в водоёмы и на рельеф без должной обработки, отравляя почву, грунтовые воды и реки. Это нарушает естественные экосистемы, убивает водных обитателей и ухудшает качество природных водоёмов, которые служат источником питьевой воды для населённых пунктов. Модернизация очистных систем, внедрение оборотного водоснабжения и строгий лабораторный контроль позволят минимизировать вред природе: сократить сброс загрязнителей, защитить водные экосистемы и сохранить здоровье людей и животных.

На предприятиях железнодорожного транспорта сточные воды образуются в основном при охлаждении аппаратуры, при промывке изделий, при травлении и нанесении гальванических покрытий, при окраске изделий и при охлаждении станочного парка эмульсиями [2].

В структуре источников техногенного воздействия на окружающую среду объектов железнодорожного транспорта выделяются две категории загрязняющих источников.

Стационарные источники загрязнения представлены комплексом производственных объектов, включающим локомотиво-вагоноремонтные депо, специализированные промывочно-пропарочные комплексы, теплогенерирующие установки котельного хозяйства, электрохимические производственные участки и аккумуляторные производственные мощности.

Передвижную группу источников формируют транспортные средства железнодорожного парка, в том числе тепловозный подвижной состав, путевые машины технического обслуживания и ремонта железнодорожного полотна, а также пассажирский подвижной состав различных типов. Указанные объекты в процессе эксплуатационной деятельности формируют техногенную нагрузку на экосистему с различной интенсивностью и качественным составом загрязняющих веществ.

Среди ключевых загрязнителей сточных вод можно выделить:

Нефтепродукты (мазут, топливо, смазочные материалы), тяжёлые металлы (свинец, медь, цинк, кадмий, барий и др.), поверхностно-активные вещества (ПАВ), кислоты и щёлочи, бактериальные загрязнения, фенолы, минеральные взвеси (песок, частицы грунта, соли), хлорная известь, каустическая сода и другие дезинфицирующие вещества, взвешенные вещества, поверхностные стоки с железнодорожных путей и мостов.

Последствия таких загрязнений включают ухудшение качества воды, снижение уровня кислорода в водоёмах, рост водорослей, заболачивание, а также риск распространения болезнетворных микроорганизмов.

Для снижения негативного воздействия требуется внедрение систем очистки сточных вод (механических, химических, физико-химических, биологических), переход на замкнутые циклы водоснабжения, а также контроль за соблюдением технологий обращения с опасными веществами. Особое внимание следует уделять объектам, где образуются наиболее опасные стоки, промывочно-пропарочным станциям, дезинфекционно-промывочным станциям, гальваническим и аккумуляторным цехам.

Анализ состава и характеристик сточных вод предприятий железнодорожного транспорта показывает необходимость применения эффективных методов очистки. Существующие традиционные технологии не обеспечивают требуемой степени очистки от широкого спектра загрязняющих веществ, включая нефтепродукты, тяжёлые металлы, фенолы и патогенные микроорганизмы.

В современных условиях возникает острая потребность в инновационных подходах к очистке сточных вод, способных обеспечить: высокую эффективность удаления различных типов загрязнений, экономичность технологических процессов, компактность очистных сооружений, автоматизацию управления, экологическую безопасность.

Рассмотрим наиболее перспективные методы очистки, позволяющие решить существующие проблемы водоочистки на объектах железнодорожного транспорта. Данные технологии демонстрируют высокую эффективность в удалении специфических загрязнителей, характерных для предприятий отрасли.

Адсорбционная очистка является наиболее универсальным и эффективным

методом удаления из воды растворенных органических веществ природного и неприродного осаждения [3]. Процесс основан на поглощении веществ поверхностью твёрдого адсорбента. В качестве адсорбентов используются активированный уголь, силикагели, цеолиты. Очистка успешно применяется на промывочно-пропарочных станциях, где установки с активированным углем и цеолитами обеспечивают удаление нефтепродуктов и фенолов с эффективностью до 95 %. Метод особенно эффективен для очистки от нефтепродуктов, фенолов и ПАВ.

Мембранная очистка включает обратный осмос, ультрафильтрацию и нанофильтрацию. Метод предполагает применение мембран, которые позволяют различным веществам проходить или задерживаться в зависимости от размера, заряда молекул. Преимущества: высокая степень фильтрации, универсальность, долгий срок службы мембран [4]. Мембранные технологии внедрены на крупных сортировочных станциях для доочистки промышленных стоков.

Флотационная очистка основана на всплытии загрязняющих частиц с пузырьками воздуха. Применение флотационного метода позволяет повысить степень очистки воды, уменьшить расход реагентов, сократить продолжительность процесса очистки, снизить обводнённость извлекаемых загрязнений и тем самым упростить процесс их дальнейшей переработки [5]. Различают механическую, химическую и электрофлотацию. Особенно актуален для очистки промывочно-пропарочных стоков.

Биологическая очистка – способность некоторых микроорганизмов расщеплять органические примеси для простейших элементов. Обязательным компонентом биологической очистки считается активный ил – сообщество живых микроорганизмов, который и перерабатывает загрязнения [6]. Метод включает аэробные и анаэробные процессы. Современные решения: биофильтры, аэротенки, метантенки, мембранные биореакторы.

Биологические методы очистки успешно применяются на железнодорожных узлах для очистки от БПК, ХПК, аммонийного азота и других органических загрязнений. Часто применяется как этап комплексной очистки.

Все перечисленные методы могут использоваться как отдельно, так и в комбинации для достижения максимальной эффективности очистки сточных вод.

Внедрение инновационных методов очистки стоков на объектах железнодорожного транспорта демонстрирует высокую экономическую и экологическую эффективность. Современные технологии позволяют снизить затраты на водопотребление, сократить расходы на реагенты и обслуживание оборудования. Срок службы модернизированных очистных сооружений достигает 10–15 лет, что обеспечивает быструю окупаемость инвестиций.

Экологический эффект проявляется в значительном снижении концентрации загрязняющих веществ: удаление нефтепродуктов достигает 98–99 %, тяжелых металлов – до 95 %, фенолов и ПАВ – 90–95 %. Это предотвращает загрязнение водоемов и грунтовых вод, защищает водные экосистемы и улучшает качество природных водоемов.

Практическое применение инновационных решений позволяет предприятиям экономить до 900 тысяч рублей в год на экологических платежах.

Например, в локомотивном депо «Ульяновск-центр» внедрение адсорбционной очистки дало экономию около 560 тысяч рублей ежегодно за счет снижения платежей и экономии воды [7].

Внедрение современных методов очистки сточных вод – это не только требование природоохранного законодательства, но и необходимое условие устойчивого развития железнодорожного транспорта как экологически ответственного вида перевозок. Комплексный подход к решению проблемы очистки стоков позволит обеспечить баланс между производственной необходимостью и требованиями экологической безопасности.

Список литературы

1. Технология очистки сточных вод предприятий железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015011285> (дата обращения 22.03.2026).
2. Методы очистки производственных сточных вод на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9833970/page:14/> (дата обращения 27.03.2026).
3. Адсорбционная очистка воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kompens.ru/clauses/vodosnabzhenie/adsorbtsionnaya-ochistka-vody/> (дата обращения 27.03.2026).
4. Обзор современных технологий фильтрации воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bwater.ru/stati/obzor-sovremennyh-tehnologij-filtraczii-vody/> (дата обращения 27.03.2026).
5. Флотационная очистка сточных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/82618/1/sueb_2020_035.pdf (дата обращения 28.03.2026).
6. Биологическая очистка сточных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ecosvc.ru/about/blog/biologicheskaya-ochistka-stochnykh-vod.htm> (дата обращения 24.03.2026).
7. Технология глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод объектов железнодорожного транспорта с использованием активированного алюмосиликатного адсорбента [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/tehnologiya-glubokoi-ochistki-neftesoderzhashchikh-stochnykh-vod-obektov-zheleznodorozhnogo> (дата обращения 28.03.2026).

УДК 631.618:502.174

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Мещеряков М. П.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград, Россия

Введение

Почвенная среда по своей сути представляет собой сложнейший системно функционирующий организм, в котором все компоненты находятся в динамическом равновесии [1]. Серьезность обозначенной проблематики многократно усугубляется тем обстоятельством, что загрязнение почв

техногенными углеводородами ведет к глубокому нарушению ее физико-химических, биотических и морфологических свойств, разрушая особо ценный гумусовый слой, сформировавшийся на протяжении длительного времени. В этой связи поиск наиболее эффективных и экологически безопасных способов очистки и восстановления почв после загрязнения нефтью и нефтепродуктами является, безусловно, актуальным направлением современной мелиоративной науки [2]. Проблема эффективного восстановления почвенного биоценоза, нарушенного в результате техногенной деятельности, в процессе проведения рекультивационных работ стоит особенно остро. При реализации деконтаминационных мероприятий всегда остаются актуальными вопросы степени и скорости очистки нарушенных земель, безопасности используемых препаратов и технологий, их экономической целесообразности, а также возможности не только восстановления, но и улучшения свойств почвы с целью возвращения их в хозяйственный оборот, в том числе для дальнейшего возделывания различных сельскохозяйственных культур [3].

Объектом настоящего исследования выступали светло-каштановые почвы Городищенского района Волгоградской области, расположенные вдоль нефтепровода «Куйбышев–Тихорецк», а также технология применения комплексного природного сорбирующего мелиоранта для рекультивации и очистки нефтезагрязненных почв на примере двух участков (Волгоградская и Ростовская области) [4].

На начальном этапе проведения исследований, нами был проанализирован и использован научно-практический опыт авторов, исследующих проблемы рекультивации техногенно нарушенных нефтью и нефтепродуктами почв с применением природных сорбирующих материалов – цеолитов и гуминовых препаратов [5]. Экспериментальные исследования основывались на современных методологических указаниях по их проведению [6]. Отбор смешанных почвенных образцов с поля осуществлялся в соответствии с общими требованиями к отбору проб, регламентированными ГОСТами 17.4.3.01-2017 и 17.4.02-84. Обработка полученных в ходе эксперимента результатов проводилась с применением стандартных статистических методов. Классификация нефтяных сорбентов по своему происхождению, представлена на рисунке 1.

В работе исследовались поглотительные свойства активированного угля марки БАУ-А, цеолита Иловлинского месторождения Волгоградской области, вермикулита месторождения Челябинской области. Для проведения лабораторных исследований по оценке эффективности комплексного мелиоранта были отобраны смешанные почвенные образцы с двух пахотных участков площадью по 1 га, расположенных в Городищенском районе Волгоградской области (участок № 1) и в Зимовниковском районе Ростовской области (участок № 2). Участки выбраны как потенциально опасные с точки зрения возможного загрязнения нефтью, поскольку по их территории проходит нефтепровод «Куйбышев–Тихорецк».

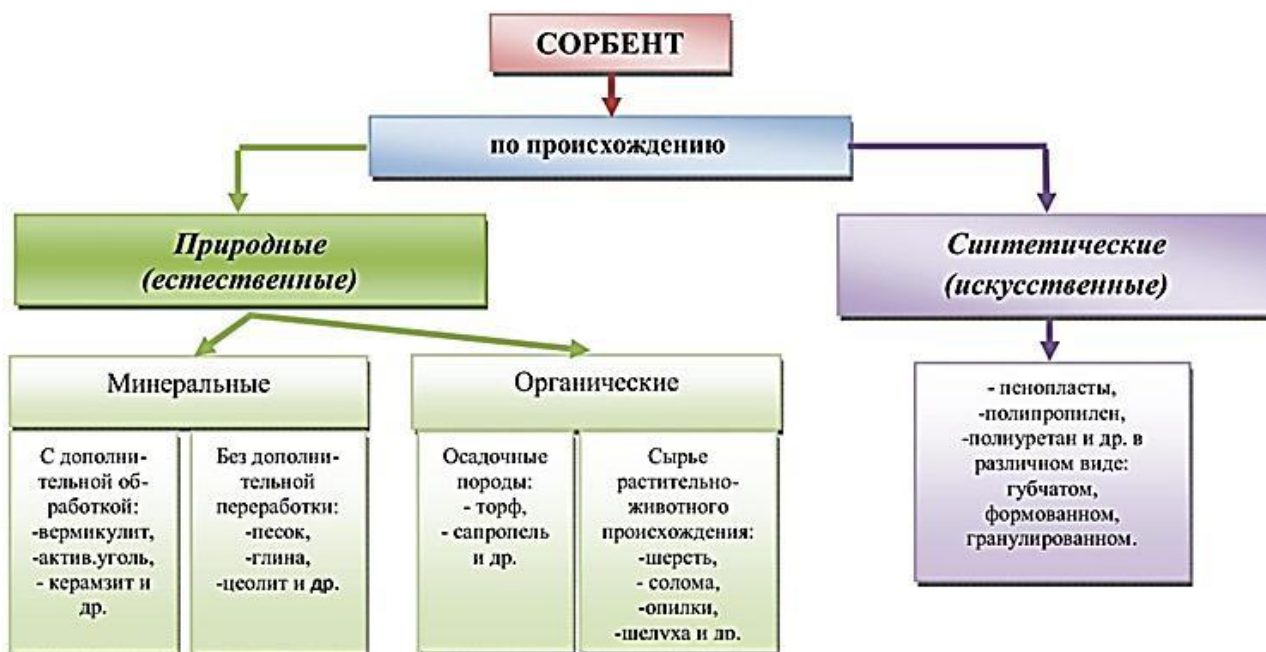


Рисунок 1 – Классификация нефтяных сорбентов

Массовую долю нефти и нефтепродуктов в почве определяли гравиметрическим и фотоколориметрическим методами в лаборатории ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ [7–9]. Гравиметрический способ применяли в соответствии с аттестованной методикой ПНДФ 16.1.41-04, основанной на хроматографическом отделении нефтепродуктов от различных органических соединений с последующим количественным определением [10, 11]. Параллельно использовали фотоколориметрический метод на приборе «Эксперт-003» при длине волны светофильтра 470 нм с применением тест-систем МЭТ, что позволило определять начальное и остаточное содержание нефтепродуктов в почве после ее контакта с природными сорбентами.

На первом этапе наших исследований мы провели сравнительную оценку поглотительных свойств выбранных минералов. По результатам эксперимента был установлен природный мелиорант с наилучшими поглотительными свойствами по отношению к почвенным нефтяным поллютантам. Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о неодинаковой эффективности изученных материалов. Более высокую степень извлечения нефтяных поллютантов продемонстрировал природный цеолит. На восьмые сутки во всех представленных образцах происходила активная сорбция нефтепродуктов, однако после двенадцатидневного периода наблюдений вермикулит и активированный уголь стали не только не поглощать, но и отдавать некоторое количество ранее накопленных загрязнителей. Увлажнение каждого из образцов почвы в некоторой степени усиливало процесс десорбции.

На основании проведенных исследований считаем, что использование природных мелиорантов для очистки и восстановления техногенно нарушенных в результате загрязнения нефтью и ее продуктами земель вполне оправдано. Доля извлечения нефтепродуктов из почвы при помощи вермикулита составила 34 %, цеолита – 75 %, активированного угля – 61 %.

Таблица 1 – Содержание нефтепродуктов в почве по дням (мг/кг)

Наименование сорбента	Содержание нефтепродуктов в почве по дням, (мг/кг)			
	1	5	8	12
Вермикулит	169	110	101	112
Природный цеолит	164	79	47	42
Активированный уголь	162	84	56	64

Однако, исходя из полученных данных, можно сделать принципиальный вывод: использование природного цеолита способствует не только более качественной сорбции, но и позволяет удерживать накопленный сорбат в порах минерала продолжительный период времени, не допуская десорбции загрязняющих веществ (рис. 2). Именно это уникальное преимущество цеолита перед другими природными сорбентами – не отдавать накопленные в порах загрязнители обратно в почву – определяет его высокую ценность для рекультивационных мероприятий.

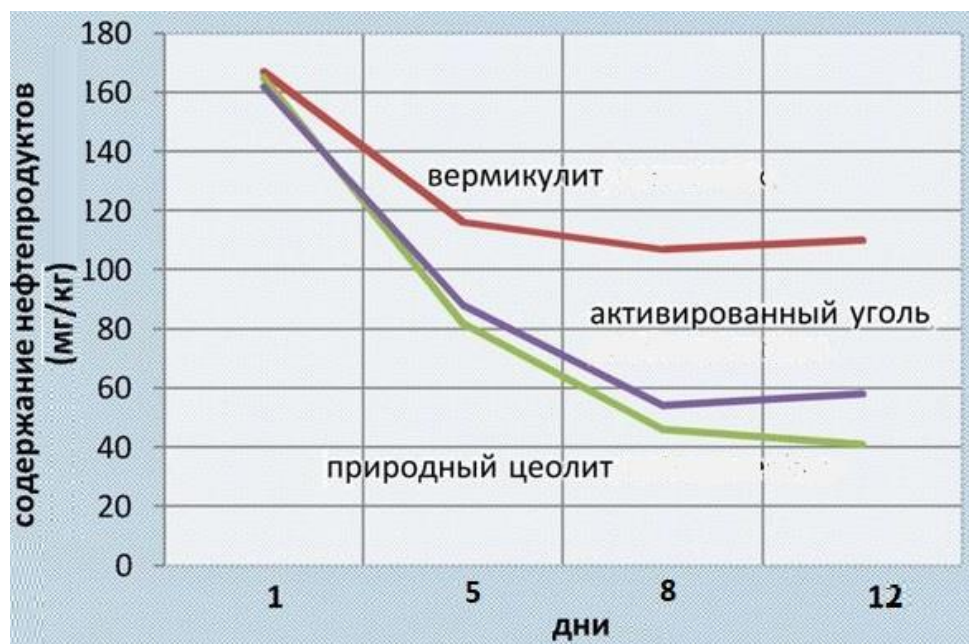


Рисунок 2 – Динамика снижения содержания нефтепродуктов в почве

Далее наши экспериментальные исследования были направлены на оценку глубины проникновения нефтяных загрязнителей в почвенном профиле исследуемого участка. Данные, характеризующие содержание поллютантов в различных почвенных горизонтах, полученные разными аналитическими методами, сведены в таблицу 2. Анализ этих данных показывает, что в одном и том же образце содержание нефтепродуктов отличается в зависимости от выбранного метода исследований. Расхождения в среднем составили в первом варианте 11,85 %, а во втором – 12,79 %, что находится в пределах допустимой сходимости и обусловлено принципиальными различиями методов.

Результаты исследований доказывают, что нефтепродукты, попадая в почву, способны передвигаться под действием гравитационных сил как

вертикально вниз, так и под действием поверхностных и капиллярных сил в горизонтальном направлении. Нами установлено, что скорость продвижения нефти в почве напрямую зависит от ее свойств, а также от соотношения состава грунта и нефти, влажности и температуры воздуха и почвы, плотности сложения почвенных горизонтов. От механического состава почвенного профиля непосредственно зависит глубина проникновения нефтепродуктов.

Таблица 2 – Содержание нефтепродуктов по горизонтам в почвенном профиле

Разрез по горизонтам	Гравиметрический метод, мг/кг	Фотоколориметрический метод «Эксперт-003», мг/кг	Расхождение, % от «Эксперт-003»
Плодородный слой, А–1	189,4	162,3	16,7
Разрез А–2	67,8	59,5	14,3
Разрез А–3	12,2	56,3	—
Плодородный слой, В–1	187,1	166,2	12,6
Разрез В–2	64,3	62,9	2,2
Разрез В–3	58,1	53,4	8,8

Особый интерес, с нашей точки зрения, представляет разработка комбинированных сорбентов на основе цеолитовых мелиорантов с целью применения в ходе рекультивационных работ при загрязнении почв нефтяными поллютантами. Именно такое направление мы считаем особенно перспективным. В связи с этим нами были проведены исследования по оценке эффективности применения комплексного природного сорбирующего мелиоранта, включающего цеолит и гуминовый препарат.

Гуминовые концентраты представлены на рынке препаратами в жидкой и гранулированной формах, отличающихся концентрацией гуминовых кислот. Именно последние обладают уникальными свойствами, позволяющими эффективно применять их в процессе рекультивации нарушенных почв. Они стимулируют развитие почвенных микроорганизмов, повышают плодородие, увеличивают влагоемкость и порозность, выступают сорбентом по отношению к различным почвенным поллютантам, в том числе органическим. Гуминовые кислоты способны коагулироваться и образовывать труднорастворимые химически нейтральные соединения с загрязнителями, как бы обволакивая, поглощая и локализуя их. Цеолиты же, обладая жесткой кристаллической структурой, способной к ионозамещению, хорошо структурируют почву, увеличивают ее воздухопроницаемость, ускоряя процессы окисления нефтяных углеводородов, и служат дополнительным источником минеральных веществ.

В ходе эксперимента в три емкости объемом 5 л на дно насыпали мелкий гравийный щебень фракции 10–20 мм слоем 1,5–2 см, а сверху помещали 3 кг почвы, загрязненной искусственно нефтью Южно-Первомайского месторождения

Саратовской области в концентрации 50 г/кг. Препарат вносили в каждый контейнер в виде смеси из расчета 150 г/кг почвы цеолита (фракцией 1–3 мм, с содержанием клиноптилолита 60–70 %) и 15 г/м² гуминового порошкообразного препарата на основе бурого угля (с содержанием гуминовых кислот не менее 65 %), что в пересчете на наш объем и площадь поверхности составило 450 г природного цеолита и 6 г гуминового препарата. После этого осуществляли рыхление (перемешивание) загрязненного грунта с комплексным сорбирующим мелиорантом. Рекультивацию проводили на протяжении 6 месяцев (один сезон) при поддержании влажности почвы на уровне 60 % и температуре воздуха выше +3 °С.

В результате были получены данные по снижению концентрации загрязнения светло-каштановой среднесуглинистой почвы с 50 г/кг до 0,562 г/кг и темно-каштановой легкосуглинистой – с 50 г/кг до 0,489 г/кг (таблица 3). Процесс восстановления и очистки образцов почв шел неравномерными темпами: наибольшая степень сорбции, более 80 %, наблюдалась в первые три месяца, замедляясь по мере насыщения сорбента.

К концу периода наблюдений снижение содержания нефтезагрязнений происходило также за счет стимулирующего действия, оказанного комплексным мелиорантом на почву, что выражалось в улучшении ее способности к самоочистке благодаря развитию полезной почвенной микрофлоры под влиянием гуминовой кислоты.

Таблица 3 – Результаты рекультивации нефтезагрязненных почв

№ Участка	Тип почвы	Исходное загрязнение, г/кг	Остаточное загрязнение после рекультивации, г/кг (по месяцам)					
			1	2	3	4	5	6
1	Светло-каштановая среднесуглинистая	50	35,379	23,240	13,373	5,784	2,543	0,562
2	Темно-каштановая легкосуглинистая	50	34,867	22,744	11,523	6,035	2,421	0,489

Восстановление почвы участка № 2 шло несколько быстрее, и остаточное содержание нефтяных поллютантов по истечении исследуемого периода (6 месяцев) в образцах почв участка № 1 было на 13 % выше. Необходимо отметить, что на четвертом месяце в образцах почвы участка № 2 наблюдалось некоторое замедление процессов очистки. Полагаем, что данный эффект мог быть спровоцирован недоувлажнением почвы (при поддержании влажности на уровне 60 %) в результате неравномерного распределения влаги в нижние слои.

При этом важно подчеркнуть, что в результате применения предложенной технологии рекультивации техногенно нарушенных земель сельскохозяйственного назначения концентрацию нефтяных загрязнителей в почве удалось снизить до допустимого уровня 0,562 и 0,489 г/кг, что ниже предельно допустимого значения 1 г/кг согласно ГОСТ Р 57447-2017.

Следовательно, заявленный способ очистки позволяет повысить качество рекультивации и обеспечить дальнейшее использование очищенной почвы при возделывании сельскохозяйственных культур.

Заключение

На основании проведенных комплексных исследований считаем возможным сделать следующие выводы. Во-первых, все исследуемые природные мелиоранты способны с достаточно высокой эффективностью извлекать и поглощать из почвы техногенные углеводороды, однако природный цеолит обладает уникальным преимуществом – удерживать накопленные загрязнители в своей пористой структуре, предотвращая обратную десорбцию. Во-вторых, в ходе экспериментально-лабораторных исследований подтверждена эффективность разработанной нами технологии рекультивации нефтезагрязненных почв сельскохозяйственного назначения с применением комплексного мелиоранта на основе цеолита и гуминового препарата. За установленный период (6 месяцев) удалось снизить содержание нефтяных загрязнений до безопасного уровня 0,562 и 0,489 г/кг. В-третьих, данная степень сорбции достигалась при строгом соблюдении технологического режима: поддержании влажности почвы на уровне 60 % и температурном режиме не ниже +3 °С, что необходимо учитывать при организации опытно-промышленных работ. Анализ результатов проведенных исследований позволяет говорить о производственной целесообразности и практической эффективности применения предложенной технологии очистки и восстановления земель сельскохозяйственного назначения, нарушенных нефтяными углеводородами, на основе комплексного природного мелиорирующего сорбента. Перспективным направлением дальнейших исследований создание комбинированных сорбентов с заданными свойствами, включающих в себя помимо цеолита и гуминовых компонентов другие природные материалы, усиливающие мелиоративный эффект.

Список литературы

1. Ковалева Е.И., Перебасова П.М., Авдулов Д.А. и др. Эффективность ремедиантов для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, по результатам лабораторного эксперимента // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2024. № 2. С. 105-118.
2. Мещеряков М.П., Мещерякова Е.Г., Макуш С.Б. Экономика замкнутого цикла в сельском хозяйстве: роль рекультивации в снижении экологических издержек // В сб.: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Мат-лы Международной научно-практ. конф. Волгоград, 2025. С. 278–284.
3. Турковская О.В., Муратова А.Ю., Дубровская Е.В. и др. Фиторемедиационный потенциал сорго веничного для очистки земель от углеводородов нефти и тяжелых металлов // Аграрный научный журнал, 2020. № 12. С. 50–54.
4. Досова А.Г., Карпова А.А., Мещеряков М.П. и др. Риск-менеджмент в управлении рекультивацией нарушенных земель // Естественно-гуманитарные исследования, 2025. № 6 (62). С. 1116–1122.
5. Шершнева В.А., Назарько М.Д. Перспективы использования биотехнологических методов в очистке почв от нефти и нефтепродуктов // В сб.: Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной

конференции. Отв. ред. С.А.Удодов. Краснодар, 2022. С. 108–113.

6. Курбангалеева М.Х. Очистка почвы от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Приднепровский научный вестник, 2024. Т. 10. № 2. С. 26–28.

7. Овчинников А.С., Мещеряков М.П. Эффективность применения и конструкции систем внутрпочвенного и капельного орошения при возделывании сладкого перца // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И.Вавилова, 2007. № 5. С. 74–78.

8. Понталев А.В., Адамов А.П., Евстигнеева Н.А. Биоремедиация как метод очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // В сб.: Студенческий научный форум. Мат-лы Международной студенческой науч. конф. Москва, 2022. С. 73–74.

9. Мещеряков М.П., Пазухина А.Ю. Применение природного цеолита в качестве мелиоранта в адаптивном земледелии // В сборнике: Перспективные тенденции развития научных исследований по приоритетным направлениям модернизации АПК и сельских территорий в современных социально-экономических условиях. Мат-лы Национальной научно-практ. конф. Волгоград, 2022. С. 246–250.

10. Гусейнова М.А., Джалаллы Э.Х. Численное моделирование биоремедиационного метода очистки почв от нефтяных загрязнений // Технологии нефти и газа, 2024. № 2 (151). С. 35–39.

11. Васильев А.В. Использование биосорбентов для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений // Известия Самарского научного центра РАН, 2024. Т. 26. № 6 (122). С. 164–174.

УДК 699.812.2

НЕСГОРАЕМЫЙ ФАСАД

Морозова А. П., Цаплиенко А. Д., Хохлова Л. И.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

Противопожарные светопрозрачные фасады и витражи – это ненесущие наружные конструкции с огнестойкостью, состоящие из прочного каркаса (алюминиевого или стального) и огнестойкого стекла. Они могут быть навесными, заполнять проемы или иметь изогнутые формы [1].

Требования к огнестойкости этих конструкций аналогичны обычным ненесущим наружным стенам. Узлы крепления к перекрытиям должны обеспечивать огнестойкость до 60 минут, соответствующую перекрытию. Оценивается сохранение целостности (Е) и теплоизоляционных свойств (И) в местах примыкания, а также несущая способность (R) в местах крепления.

Требования к наружным ненесущим стенам изложены в таблице ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2].

Наружные светопрозрачные стены должны иметь предел огнестойкости E30 для зданий I степени огнестойкости и E15 для II–IV степеней.

Для максимальной пожарной безопасности зданий применяются вентилируемые фасадные системы из негорючих материалов, эффективно сдерживающих огонь. К ним относятся:

- Каменная вата: не горит, выдерживает до 1000 °С.
- Фиброцементные панели: инертны к огню, не выделяют вредных испарений.
- Металлический сайдинг: негорючий (важны марка металла и покрытие).
- Фасадный керамогранит: прочный и негорючий композитный материал.

Таблица 1 Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и надподвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

– Штукатурка (цементная/гипсовая): огнеупорна, защищает от распространения огня.

При выборе негорючего фасада учитываются тип объекта, климат, конструктивные особенности и требования пожарной безопасности.

Вентилируемые фасады – современное решение для облицовки, сочетающее эстетику и практичность. Воздушный зазор между стеной и отделкой обеспечивает циркуляцию воздуха, предотвращает скопление влаги и улучшает теплоизоляцию. Система включает несущую конструкцию, утеплитель, воздушный зазор и декоративную облицовку. Негорючие вентилируемые фасады используют материалы с повышенной огнестойкостью для обеспечения безопасности [3].

Нормативное регулирование горючести строительных материалов в России

В РФ вопросы классификации строительных материалов по их горючести регламентируются законодательными и нормативными актами [3].

Рекомендации по выбору негорючих вентилируемых фасадов

При выборе материалов для вентилируемых фасадов с целью обеспечения пожарной безопасности следует учитывать ряд факторов:

- Тип здания: назначение и функциональность постройки.
- Климатические условия: особенности региона эксплуатации.

- Конструктивные особенности: архитектурные и инженерные решения.
- Требования пожарной безопасности: нормативные предписания для конкретного объекта.

Выбор облицовочных материалов

Для достижения высокого уровня огнестойкости вентилируемого фасада предпочтение следует отдавать облицовочным материалам класса НГ [3].

К таким материалам относятся, например:

- Керамогранит.
- Металлические панели.
- Натуральный камень.

Выбор утеплителя

Невоспламеняемый утеплитель является критически важным компонентом вентилируемого фасада, обеспечивающим теплоизоляцию. Для негорючих вентилируемых фасадов подходят следующие виды утеплителей:

- Минеральная вата: относится к классу НГ, обладает высокой огнестойкостью и безопасна для окружающей среды [3].
- Базальтовая вата: также является негорючим материалом для вентилируемых фасадов, не выделяет вредных веществ при нагреве и обеспечивает превосходную теплоизоляцию [3].

Крепежные системы

Для обеспечения долговечности и безопасности негорючих вентилируемых фасадов применяются металлические крепежные системы, изготовленные из таких материалов, как алюминий или оцинкованная сталь [3].

Региональные особенности и их влияние на выбор

В регионах с повышенным риском возникновения пожаров (например, в южных или засушливых районах) применение негорючих вентилируемых фасадов является обязательным. В густонаселенных городских районах также крайне важно выбирать облицовочные материалы с высоким классом огнестойкости для минимизации риска распространения огня на соседние строения [3].

Преимущества и недостатки применяемых способов огнезащиты строительных конструкций.

Огнезащита строительных конструкций: плюсы и минусы.

1. Обетонирование, оштукатуривание, обкладка кирпичом:

- Плюсы: низкая стоимость материалов.
- Минусы: большая масса, необходимость крепежа, сложность ремонта и работ на высоте, трудоемкость, невозможность защиты труднодоступных мест.

2. Плиты из пористых/волокнистых материалов:

- Плюсы: гизкая масса, вибростойкость, долговечность, технологичность, низкая трудоемкость.
- Минусы: требуются большие толщины, высокая паропроницаемость, риск коррозии, невозможность защиты труднодоступных мест, сложность работ на высоте [4].

Применение составов на основе жидкого стекла

Плюсы:

1. Относительно низкая трудоемкость.

Минусы:

1. Низкая вибростойкость покрытия при больших количествах слоев;
2. Трудность обеспечения и контроля заданных толщин покрытия;
3. Большая по времени продолжительность нанесения и сушки покрытия;
4. Невозможность параллельного проведения других работ;
5. Большие технологические потери при нанесении.

Применение огнезащитных красок вспучивающегося типа (тонкослойные покрытия)

Плюсы:

1. Относительно низкая трудоемкость;
2. Малая толщина покрытия;
3. Возможность нанесения валиком, кистью, распылением;
4. Возможность защиты труднодоступных мест металлоконструкции;
5. Возможность минимизировать технологические потери;
6. Не требует специальной подготовки персонала;
7. Имеет не только огнезащитные, но и декоративные свойства.

Минусы:

1. Ограничение области применения согласно требованиям нормативной документации по пожарной безопасности;
2. Требуется постоянный контроль толщины покрытия [4].

Комбинированная огнезащитная конструктивная система: преимущества и недостатки

Преимущества:

- Универсальность: широкая область применения, не ограниченная нормами.
- Экономичность: дешевле огнезащитных красок и аналогичных систем.
- Экологичность: безопасен, без запаха.
- Простота: низкая трудоемкость, не требует спецподготовки.
- Эффективность: тонкое покрытие, защита труднодоступных мест,

минимизация потерь.

- Удобство нанесения: валик, кисть, распыление.
- Совместимость: слои системы полностью совместимы.
- Декоративность: обладает также декоративными свойствами.

Недостатки:

- Контроль толщины: требуется постоянный контроль.
- Температурные ограничения: работы только при положительных температурах [4].

При выборе фасадных материалов важны не только огнестойкость, но и экологичность, долговечность, тепло- и звукоизоляция, а также эстетика [5].

Негорючие материалы:

- Кирпич: надежный, негорючий, с хорошей теплоизоляцией.
- Клинкерная плитка: прочная, термостойкая, имитирует кирпич.
- Натуральный/искусственный камень: престижен, обеспечивает высокую огнезащиту.

- Фасадные панели: выбирайте негорючие виды (например, керамогранитные).
- Штукатурка (цементная/гипсовая): высокая огнеупорность.
- Металлические кассеты/сайдинг: используйте негорючие виды металла.
- Каменная вата: лучший выбор для предотвращения распространения огня.

Комбинирование материалов позволяет создать как защитный, так и эстетичный фасад.

Комплексный подход к пожарной безопасности: Правильный выбор негорючих стройматериалов (кирпич, клинкер, цементная штукатурка, каменная вата) в сочетании с соблюдением эксплуатационных требований значительно повышает пожарную безопасность дома [5].

Некоторые области применения:

Строительство каркасных домов – негорючая отделка обязательна, так как в конструкции много древесины, и без защиты фасада огонь может охватить стены.

Регионы с высоким риском возгораний – например, в южных или сухих районах. Густонаселённые городские районы – важно выбирать облицовку с высоким уровнем огнестойкости, чтобы снизить риск распространения пожара на соседние здания [6].

Некоторые виды негорючих фасадных систем:

Вентилируемые фасады – многослойная система облицовки, в которой между стеной и облицовочным материалом есть воздушный зазор, что позволяет стенам «дышать» и обеспечивает теплоизоляцию.

Фасадные панели – например, металлические (из стали или алюминия), керамические (благодаря жаропрочной керамике), фиброцементные (состоят из цемента и волокон).

Не рекомендуется использовать пенопласт и экструдированный пенополистирол – эти материалы горючие и выделяют ядовитый дым при пожаре [6].

Монтаж:

Для монтажа негорючих фасадных систем используйте негорючие элементы (металл, оцинкованные саморезы, минеральные дюбели). Деревянную обрешётку обрабатывайте огнезащитой. Оставляйте вентилируемый зазор 3–5 см между облицовкой и стеной для предотвращения влаги и плесени. Рекомендуется обратиться к профессионалам для монтажа и регулярного обслуживания, чтобы обеспечить пожарную безопасность [6].

Нормативные требования:

Классификация горючести стройматериалов в России регулируется такими нормативными документами, как Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытания на горючесть», СНиП, которые регулируют применение горючих и негорючих материалов в вентилируемых фасадах [6].

Огневые испытания несгораемых фасадов:

Цель: Определение класса пожарной опасности фасада и разработка рекомендаций по применению [7].

Методика:

Монтаж: Образец фасада на негорючей стене с имитацией проёмов.

Воздействие: Имитация пожара из помещения через проём на фасад.

Регистрация: Измерение температур, воспламеняемости газов.

Проверка газов: Поднесение огня к местам выхода газов [7, 8].

Оборудование:

Испытательный стенд (огневая камера, фрагмент стены), термопреобразователи, датчики теплового излучения [8].

Интерпретация результатов:

Результаты огневых испытаний фасадных систем определяют их соответствие классу пожарной опасности. Например, отсутствие тепловых эффектов, вторичных источников зажигания и обрушений элементов массой более 1 кг в ходе испытаний свидетельствует о соответствии системы требованиям ГОСТ 31251-2008 для класса K0 [8, 9].

На основе результатов испытаний разрабатываются рекомендации по применению системы утепления для зданий определённого класса пожарной опасности и высоты.

Обозначения пределов огнестойкости строительных конструкций указывают время в минутах до достижения определенного состояния [8, 9, 10].

Согласно ГОСТ 30247, стандартные значения: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360 минут [10].

Примеры:

- R 120: 120 минут по потере несущей способности.

- RE 60: 60 минут по потере несущей способности или целостности (что наступит раньше).

- REI 30: 30 минут по потере несущей способности, целостности или теплоизолирующей способности (что наступит раньше) [10].

Заключение

На основе анализа преимуществ и недостатков инновационного огнеупорного облицовочного материала для домов, в котором битое стекло – основной продукт, можно сделать вывод, что использование в будущем данного материала довольно перспективно. Стекло способно уменьшить большое количество отходов, которые не утилизируются должным образом, что безусловно положительно скажется на состоянии окружающей среды. Из применяющихся негорючих материалов лучше всего показывают себя огнезащитные краски вспучивающегося типа и комбинированная огнезащитная конструктивная система. Безусловно, стоит отметить, что комплексный подход к пожарной безопасности в целом значительно повышает безопасность каждого дома. Эта инновационная технология внесет значительный вклад в цепочку переработки, в отличие от огромного количества многоцветного материала, который каждый год попадает на свалки, так как они на 83 % состоят из переработанного стекла. Исследования показали высокие эксплуатационные характеристики битого стекла, благодаря добавлению полимерных связующих, которые гарантируют большую прочность и меньшую предрасположенность к

поломке. Таким образом, это не только помощь экологии, но и экономически выгодное изобретение.

Список литературы

1. Ученые создали и продают «несгораемый» фасад для зданий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://4pda.to/2023/03/19/410787/>.
2. Противопожарный светопрозрачный (огнестойкий) фасад или витраж (наружная несущая светопрозрачная стена) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pyroglass.ru/services/protivopozharnye-ognestoykiy-fasad-i-vitrazhi/?ysclid=mi69fymqja306527489>.
3. Негорючие вентилируемые фасады [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zias.ru/articles/negoryuchie-ventiliruemye-fasady-bezopasnost-i-effektivnost/>.
4. Огнезащита: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://polifan-lkm.ru/article/ognezashchita-preimushchestva-i-nedostatki/?ysclid=midhisqody76303640>.
5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rontfasad.ru/blog/negoryuchie-materialy-dlya-fasada-kak-uberech-dom-ot-pozhara/>.
6. Негорючий материал для фасада каркасного дома [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elbrus-house.ru/blog/negoryuchiy-material-dlya-fasada-karkasnogo-doma/?ysclid=ml6cj5pha734889076>.
7. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://admsurgut.ru/files/materials/files/files2/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D0%BE_%D0%9F%D0%91_%D1%84%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%B2.
8. Стенд для испытания фасадных систем на огнестойкость [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://asv.mgsu.ru/customer/Oborudovaniye/Bezopasnot-v-stroitelstve/Stend-dlya-ispityania-fasadnikh-system-na-ognestoykost/>.
9. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=37390210>.
10. Таблица огнестойкости строительных конструкций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://inner.su/articles/tablitza-ognestoykosti-konstruktsiy-rei-predely-dlya-betona-metalla-dereva/?ysclid=ml6crfxe4924619478>.

УДК 614.7

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С СЕМИАРИДНЫМ КЛИМАТОМ И С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАСУШЛИВОСТИ

Мухитдинова Т. А., Касимцева Н. В., Эрдниев Л. П., Микеров А. Н.

Саратовский МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, г. Саратов, Россия

Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одним из приоритетных направлений развития современной России. Для решения этой задачи была разработана программа федерального проекта «Чистая вода», входящего в состав национального проекта «Жилье и городская среда», созданного по решению Президента России.

Наиболее сложные условия водоснабжения населения питьевой водой

наблюдаются на засушливых территориях с семиаридным климатом. Показатель степени засушливости территории подразделяет земли на экстрааридные, аридные и полуаридные, или чрезвычайно засушливые, засушливые и полувасушливые. К экстрааридным относят области, где вероятность постоянных засух – 75–100 %, к аридным – 50–75 % и семиаридным – 20–40 % [1]. По данным Росгидромета за 2023 год, центральная часть Республики Калмыкии относится к экстрааридной территории, северо-восточная часть Астраханской области относится к аридной области, а юго-восточная часть Саратовской области к полуаридной. При этом, на всех указанных территориях действует холодный семиаридный (степной) климат [2].

Негативное воздействие факторов семиаридного климата снижает степень увлажнения территории, повышая засушливость территории. Засушливость может быть охарактеризована гидротермическим коэффициентом Селянинова [6], который определяет отношение количества выпавших атмосферных осадков в дни с температурой воздуха более 10 °С к значению суммы температур за те же дни.

В соответствии с классификацией зон увлажнения по гидротермическому коэффициенту Селянинова, к очень засушливым зонам на юге России относятся следующие регионы:

- Астраханская область – 0,28;
- Республика Калмыкия – 0,32;
- Волгоградская область – 0,65;
- юго-восточная часть Саратовской области – 0,47.

Различия гидротермических коэффициентов свидетельствует о разной степени засушливости территорий и особого влияния сухого климата на территории. Из представленных данных следует, что засушливость территорий с сухим климатом возрастает в ряду: Волгоградская область – юго-восточная часть Саратовской области – Республика Калмыкия – Астраханская область. Сама степень аридности климата определяется показателем, который рассчитывается, исходя из климатических характеристик: количества осадков, выпавших за год, количества осадков, выпавшим за период с апреля по сентябрь, средней годовой температурой воздуха. По отношению сезонных и годовых количеств выпавших осадков аридный климат подразделяется на пустынный и степной [4]. Превышение средней годовой температуры воздуха 18 °С определяет жаркий аридный климат. При меньшей температуре климат характеризуется как холодный аридный. Так, в соответствии с классификацией Кёппена, сухой климат разделяется на жаркий (BWh) и холодный (BWk) пустынный (аридный) климат, жаркий (BSh) и холодный (BSk) степной (семиаридный) климат [3, 4].

Для проведения сравнительного анализа были выбраны засушливые территории с семиаридным климатом: юго-восточная часть левобережья реки Волга в Саратовской области, левобережная часть и дельта реки Волги в Астраханской области, Республика Калмыкия. Показатели, характеризующие климат на исследуемых территориях в 2023 году, представлены в таблице 1.

Следует отметить, что за последние десятилетия существования проблемы, качество воды в поверхностных водоисточниках на этих территориях только ухудшается в связи с сформированным 23-летним трендом изменения

климатических условий.

Таблица 1 – Климатические показатели на территориях Саратовской, Астраханской областей и Республики Калмыкии в 2023 году [5]

Исследуемая территория	Количество осадков, выпавших за год, мм	Количество осадков, выпавших в период апрель-сентябрь, мм	Средняя годовая температура воздуха, °С	Класс климата по классификации Кёппена
Саратовская обл. (п. Александров-Гай)	377	152	12,7	BSk – холодный степной (семиаридный) климат
Астраханская обл. (г. Астрахань)	261	194	9,4	
Республика Калмыкия (г. Элиста)	430	216	11,7	

Результаты проведенного анализа указывают на рост средней годовой температуры (таблица 2) на фоне увеличения разницы между годовым количеством выпавших осадков и количеством осадков, выпавших за наиболее засушливый период с мая по август (таблица 3).

Таблица 2 – Динамика изменения средней годовой температуры на территориях с различной степенью аридности (2000-2023 гг.) [5]

Год наблюдения	Наименование аридного региона (пункт мониторинга показателей) / Значение средней годовой температуры по годам, °С			Среднее значение температуры на территориях с разной степенью аридности, °С
	Республика Калмыкия (г. Элиста)	Астраханская область (г. Астрахань)	Саратовская область (Юго-Восточная часть левого берега р. Волга (п. Александров-Гай))	
2000	10,50	11,20	8,60	10,10
2005	10,60	11,50	8,30	10,13
2009	10,70	11,80	7,70	9,73
2015	10,90	10,80	8,50	10,40
2020	11,50	12,20	9,00	10,90
2023	11,70	12,70	9,40	11,27

Таблица 3 – Динамика изменения отношения количества выпавших атмосферных осадков за год к количеству осадков выпавших за период май-август (2000-2023 гг.) [5]

Год наблюдения	Наименование аридного региона (пункт мониторинга показателей) / Значение К (сумма осадков, выпавших за год / сумма осадков, выпавших за период май-август), °С			Среднее значение К (Коэффициент = сумма осадков, выпавших за год / сумма осадков, выпавших за период май-август) на территориях с семиаридным климатом
	Республика Калмыкия (г. Элиста)	Астраханская область (г. Астрахань)	Саратовская область (Юго-Восточная часть левого берега р. Волга (п. Александров-Гай))	
2000	2,35	2,31	2,43	2,36
2005	3,53	3,13	3,94	2,53
2009	2,36	2,30	3,77	2,69
2015	2,61	3,77	4,96	3,78
2020	2,72	2,10	4,12	2,98
2023	2,64	3,18	3,73	3,18

Увеличивающаяся разница между количеством сезонным осадков, выпавших в самый теплый период, и количеством годовых осадков свидетельствует об увеличении засушливости территорий в летний сезон, что приводит к постепенному, от года к году, повышению концентраций химических веществ в поверхностных водоисточниках до значений, превышающих гигиенические нормативы, с максимальным ростом в летние сезоны. В наибольшей степени отражает эту проблему динамика изменения концентрации хлоридов. Данные по динамике изменения концентрации хлоридов в воде поверхностных источников представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Динамика изменения концентрации хлоридов в поверхностных водоисточниках с разным типом питания на территориях с различной степенью аридности

Название поверхностного водоисточника, краткая характеристика типа питания	Динамика изменения концентрации хлоридов в воде водоисточника		
	Год наблюдения	Концентрация хлоридов, мг/л (нПДК)	Минерализация, мг/л
Республика Калмыкия [7], за 2024 г – данные СМНЦГ			
Река Элистинка, питание дождевое	2015	1338 (3,8)	2260
	2021	1820 (5,2)	-
Озеро Маныч-Гудило	2024	5573 (15,9)	9580
Астраханская область [8], за 2024 г – данные СМНЦГ			
Река Ахтуба, рукав реки Волга (исток из реки Волга и впадает в Волгу)	2015	24 (0,06)	нет данных
	2018	71 (0,20)	228
	2024	97 (0,28)	337
Саратовская область, собственные данные СМНЦГ			
Река Чалыкла, питание снеговое, дождевое	2023	245 (0,7)	673
	2024	491 (1,4)	1230
Река Большой Узень, питание снеговое, дождевое, подпитка из реки Волга	2023	58 (0,17)	223
	2024	98 (0,28)	337

Представленные результаты показывают, что значения концентрации хлоридов в поверхностных водоисточниках с разным типом питания на территориях с различной степенью аридности (Республика Калмыкия, Астраханская и Саратовская области) подвержены определенному росту в зависимости от года наблюдения.

В общей тенденции, как на территории Саратовской и Астраханской областей, так и в Калмыкии, поверхностные источники, ограниченные только дождевым и снеговым питанием, характеризуются пиковыми повышениями концентрации химических веществ и минерализации до уровней, опасных для здоровья населения.

На исследуемых территориях с семиаридным климатом, количество выпадаемых осадков напрямую зависит от количества влаги, приносимой преимущественно атлантическими циклонами, которые формируются у берегов Европейской части континента. Отмеченный тренд к повышению температуры воды в этом регионе Атлантического океана в период с 2015 по 2024 гг., обосновывает увеличение количества выпадаемых осадков на исследуемых аридных территориях за осенне-зимне-весенний период [5, 9].

Масштабирование временного периода до 42 лет, так же определяет тренд на повышение температуры воды в Атлантическом океане в зоне формирования циклонов. Этот факт предполагает в дальнейшем возрастающую тенденцию по количеству выпадаемых осадков на исследуемых территориях в период сентябрь-апрель.

В то же время, с мая по август на аридных территориях наступает засушливый период, обусловленный воздействием Азиатских антициклонов, формирующихся над территорией Азии (Монголии, Китая). Тренд последнего десятилетия (2013–2023 гг.) указывает на понижение температуры воды в Индийском океане [7], что приводит к увеличению сезона продвижения муссонных воздушных масс в сторону континента в летний период.

Опосредованно это приводит к длительной стабилизации Азиатских антициклонов над исследуемыми территориями с семиаридным климатом. Этот факт согласуется с тенденцией по уменьшению количества выпадаемых осадков в летний сезон и увеличению продолжительности засух (количество дней без осадков или с осадками менее 10 мм) на этих территориях.

Относительно тенденции изменения годового количества выпадаемых осадков, следует отметить обозначенный тренд на снижение по всем исследуемым регионам с семиаридным климатом. Этот тренд отличается от общероссийского, который определяет увеличение количества осадков. Так, с 2014 года среднегодовое количество осадков, по показателям трендовой линии, на территории Калмыкии уменьшилось примерно на 30 мм, в Саратовской области – на 22 мм, в Астраханской – на 11 мм. При этом по России количество осадков, выпадаемых за год, увеличилось на 83 мм [10].

По собственным наблюдениям, за период исследования (с 2024 по 2025 гг.), динамика изменений санитарно-химических показателей определяется ежегодной сезонной цикличностью, характеризуется максимальным ухудшением показателей в летне-осенний период и недостаточной нормализацией этих показателей за зимне-весенний период.

Заключение

Таким образом, анализ временных рядов климатических переменных (среднегодовая температура, среднегодовое количество атмосферных осадков, сезонное количество атмосферных осадков) показал, что юго-восточная часть Саратовской области, Астраханская область и Республика Калмыкия относятся к территориям с разной степенью засушливости на которых преобладает холодный степной (семиаридный) климат.

Определено, что за последние 10 лет на этих территориях наблюдаются следующие специфические тенденции изменения климата: уменьшается годовое количество выпадаемых атмосферных осадков, уменьшается количество выпадаемых атмосферных осадков в летний сезон, увеличивается количество засушливых дней, преимущественно в летний сезон.

Показано, что наблюдаемое изменение климата сочетается с изменениями климата, регистрируемыми на планете Земля за последние 42 года, в частности, с увеличивающейся разницей между температурами воды в Атлантическом и

Индийском океанах, оказывающих влияние на формирование климата на засушливых территориях с семиаридным климатом.

Список литературы

1. Радченко Т.А., Михайлов Ю.Е., Валдайских В.В. Биogeография: курс лекций: [учеб. пособие] / под ред. Г.И. Махонина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 164 с.
2. Росгидромет. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М.: Росгидромет, 2024. 104 с.
3. Шумова Н.А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы, 2021. Т. 27. №. 4 (89). С. 13–24.
4. Лобанов В.А. Учебное пособие по региональной климатологии: учебное издание. СПб.: РГГМУ, 2020. 170 с.
5. Погода и климат [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34391.htm> (дата обращения: 27.08.2025).
6. Шумова Н.А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы, 2021. Т. 27. №. 4 (89). С. 13–24.
7. Даваева Ц.Д., Сангаджиева Л.Х., Бакурова Ц.Б. и др. Анализ химического состава поверхностных вод города Элиста / АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал, 2024. № 1.
8. Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области реки Волги за 2020 год / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ФГБУ «КаспМНИЦ». Астрахань, 2021. 71 с.
9. Sea Surface Temperature (1 month – Aqua/MODIS) NASA. URL: <https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28M&date=2010-12-01> (дата обращения 10.10.2024).
10. Meteoblue [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/change/Калмыкия_Россия_553972 (дата обращения: 27.08.2025).

УДК 69.01

БУДУЩЕЕ ДЕРЕВЯННЫХ МНОГОЭТАЖЕК В РОССИИ

Прудников Е. С., Сахаров Д. М., Хохлова Л. И.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

Древесина является одним из малочисленных возобновляемых природных ресурсов, используемым человеком на протяжении многих веков. Она является достаточно легкой и в то же время прочной, что позволяет ее использовать в несущих конструкциях зданий, а по прочности на сжатие и растяжение она ничем не уступает бетону. Однако одними из ее главных недостатков являются высокая пожароопасность и подверженность к гниению, что делает ее применение в долговременных постройках нецелесообразной.

С развитием научных достижений в области конструкций и развитием технологий, человек смог прийти к усовершенствованию древесины как строительного материала, убрав ее недостатки и усилив преимущества, а именно – изобретению клееных деревянных конструкций и CLT-панелей [1, 2, 3].

Клееные древесные материалы являются относительно новым строительным материалом, используемых для строительства несущих конструкций и отделки здания. Технология изготовления заключается в сушке материала до определенного процента влажности (12 %), удалении таких дефектов, как сучки и гниль, последующем выравнивании пиломатериалов, нанесении клея и прессовке [4].

В результате описанной обработки получается более прочный и менее пожароопасный материал, нашедший применение не только в домостроительстве, но и в строительстве промышленных сооружений ввиду низкой химической активности древесины и длительного сохранения прочности при горении (90–120 минут), а также возможности проектировать большие пролеты, тем самым создавая больше места для промышленного оборудования.

CLT-панели представляют собой материалы, состоящие из слоев древесины, склеенных перпендикулярно по направлению с предыдущим слоем (рисунок 1). По свойствам, эти панели объединяют характерные свойства двух материалов – клееного бруса и железобетонной плиты. С клееным брусом его объединяет общая структура и процесс изготовления, включающий в себя этапы сушки, торцовки и прессовки с 4-х сторон. В готовом виде конструкция является многослойной. Как для любой многослойной панели, были определены минимальное и максимальное количество слоев для такой конструкции – 3 и 12 соответственно. Ее толщина может меняться от 45 до 480 мм. Эта величина зависит от количества слоев [4]. С железобетонными панелями панели объединяют прочностные качества и долговечность, а также возможность унификации готовых изделий, такие как стеновые и перегородочные панели, плиты перекрытия, колонны и балки.

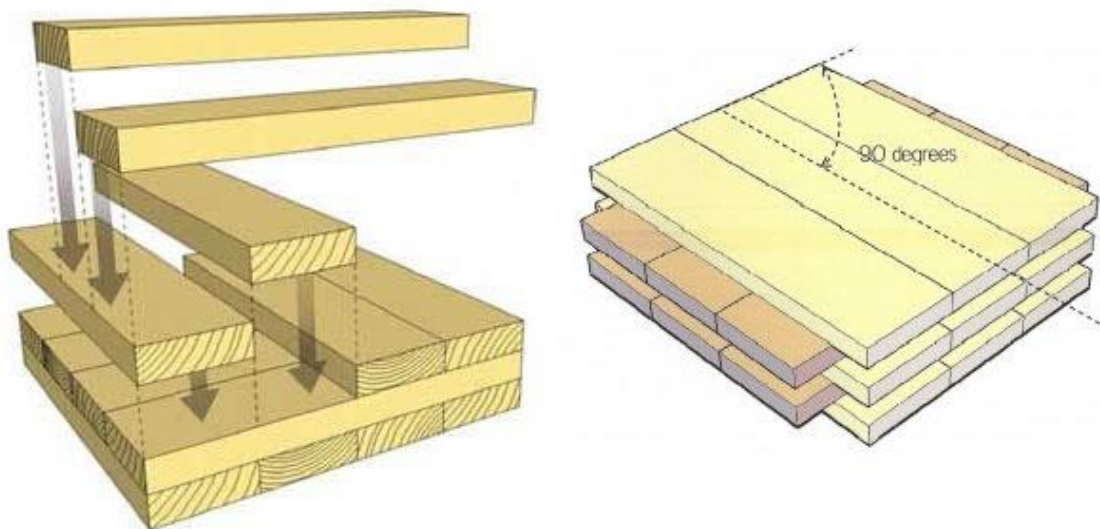


Рисунок 1 – Схематичное изображение CLT-панели

Если раньше строительство из дерева в основном нашло применение в проектировании малоэтажных жилых помещений, то использование клеено-деревянных конструкций значительно расширило область применения дерева как строительного материала. Сейчас, по всему миру, дерево

используется как и для индивидуального домового строительства, так и для офисов и производственных цехов.

Лидирующими странами, добившихся наибольшего количества достижений в деревянном многоэтажном строительстве, являются Австралия, Австрия, Великобритания, Канада и Норвегия [2]. Существуют проекты по строительству деревянных высоток, например, проект 44-этажного жилого дома в Чикаго, высота которого превышает 120 метров, однако на данный момент строительство еще не начато. Мировым рекордом по высоте деревянного здания на данный момент остается башня Mjøstårnet (Норвегия, Брумунддал) (рисунок 2), чья высота составляет 85,4 метра. В ходе строительства использовались клеено-деревянные конструкции в качестве вертикальных опор и CLT-панели в качестве плит перекрытия.

В России, к сожалению, многоэтажное строительство из дерева на данный момент не получило должного распространения. Наиболее высоким зданием, полностью сделанными из дерева, являются офисное здание корпорации «Good Wood» (рисунок 3), расположенное в поселке Елино, Зеленоград, насчитывающее 4 этажа и имеющее высоту около 19,7 метров. В качестве несущих конструкций были применены колонны сечением 280×800 мм высотой 12 метров, а также ригели и подкосы сечением 180×390 мм.

В России, в свою очередь, клеено-деревянные конструкции так же получают распространение, но необходимо учитывать и региональную специфику. Вектор развития в этой сфере задают, в первую очередь, опыт и наработки строительной отрасли и нормативная база.



Рисунок 2 – Башня Mjøstårnet (Норвегия, Брумунддал)



Рисунок 3 – Центральный офис GOOD WOOD

На рис. 4 и рис. 5 представлены таблицы физико-химических свойств CLT-панелей, а также сравнение этих свойств с железобетоном. Сравнение с железобетоном, основным и наиболее традиционным материалом для возведения зданий, позволяет наилучшим образом обозначить не только допустимую область применения CLT-панелей и клеено-деревянных

конструкций, но и выявить ее основные преимущества и недостатки в сравнении с эталонным строительным материалом.

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ
Плотность материала	470-500	кг/м ³
Прочность на сжатие (вдоль волокон)	13-15	МПа
Прочность на сжатие (поперек волокон)	1,8	МПа
Прочность на изгиб	9,11-11,67	МПа
Теплопроводность	0,085-0,13	Вт/(м*К)
Удельная теплоёмкость	2,1	кДж/(кг*К)
Влажность панели	10-12	%
Скорость обугливания	0,7-0,8	мм/мин
Деформация при изменении влажности	0,2-0,3	мм/пог.м

Рисунок 4 – Таблица физико-химических свойств CLT-панелей [5]

ХАРАКТЕРИСТИКА	CLT-ПАНЕЛИ	ЖЕЛЕЗОБЕТОН
Плотность, кг/м ³	470-500	2300-2600
Теплопроводность, Вт/(м*К)	0,085-0,13	1,5-2,0
Огнестойкость (REI), мин	60-90	60-180
Скорость монтажа	2-3 дня (коробка)	2-4 недели
Требования к фундаменту	Облегчённый	Усиленный
Максимальная этажность	до 18 этажей	без ограничений
Экологичность	Возобновляемый ресурс	Высокий углеродный след

Рисунок 5 – Таблица сравнения характеристик CLT-панелей и железобетона [5]

Исходя из приведенных таблиц (рис. 4 и рис. 5) [5], можно сделать вывод, что технология CLT-панелей имеет ряд весомых преимуществ, благодаря которым она получает распространение по всему миру. Клеевые древесные материалы гораздо легче, чем массово используемый железобетон, более

экологичны, обладают высокой сейсмостойкостью, низкой теплопроводностью и высоким шумопоглощением. Ввиду того, что CLT-панель представляет собой накрест склеенные ламели, создается эффект взаимного армирования слоев с разнонаправленными волокнами, что значительно повышает прочность материала на изгиб.

Отдельно стоит отметить огнестойкость данного материала. Древесина представляет собой весьма горючий материал ввиду своей пористости и обильных инклюзий воздуха в своей структуре. Однако, несмотря на такой недостаток исходного сырья, CLT-панели, ввиду своей низкой теплопроводности и обработки клеевыми веществами под прессом (что снижает количество пор в древесине, заполненных воздухом), смогли преодолеть основной недостаток древесины. Более того, при контакте с огнем на поверхности панелей появляется обугленный слой, выполняющий защитную функцию и не дающий кислороду попасть внутрь панели. Скорость обугливания CLT-панели составляет 0,7–0,8 мм в минуту, что позволяет расчетным путем определить необходимое сечение конструкции для длительного сохранения прочности при контакте с огнем (рисунок 6).

ТИП КОНСТРУКЦИИ	ТОЛЩИНА, мм	ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ	ВРЕМЯ СОХРАНЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
Стеновая панель	100	REI 60	более 60 мин
Стеновая панель	150-180	REI 90	более 90 мин
Перекрытие	140-160	REI 60	более 60 мин
Перекрытие (усиленное)	200+	REI 90	более 90 мин
С гипсокартонной обшивкой	любая + 2х12,5 ГКЛ	REI 120	более 120 мин

Рисунок 6 – Таблица предела огнестойкости CLT-конструкций [5]

Исходя из таблицы огнестойкости можно понять, что вышеупомянутые конструкции по пожаробезопасности почти сопоставимы с железобетоном и заметно обходят железные конструкции, теряющих свою прочность при меньшем времени контакта с огнем, что делает клеено-деревянные конструкции и CLT-панели достойной альтернативой традиционно устоявшимся строительным материалам.

Отсюда можно сделать вывод, что даже при первоначально кажущейся дороговизне и некупаемости КДК и CLT конструкций, они являются одним из наиболее экономичных, легкодоступных, прочных, и, главное, возобновляемыми строительными материалами. Большая цена материалов окупается легкостью и скоростью их монтажа, а также экономии на фундаменте и перевозке ввиду их легкости, при том что физические качества материала остаются на одном уровне с железобетоном, а в некоторых случаях даже превосходят.

Однако, при всех достоинствах данного вида строительства, технология остается малоизвестной на территории России. Только

высококвалифицированные монтажники с опытом работы с CLT-панелями смогут возвести каркас, который способен равномерно распределить всю нагрузку. Из этого следует, что развитие данной отрасли зависит, в том числе от наличия достаточного количества рабочих, имеющих необходимую квалификацию [6].

Активное развитие данной отрасли строительства требует создания определенного свода правил, который мог бы официально закрепить требования к материалам конструкций, конструкциям зданий, инженерной подготовке, особенностям возведения в разных климатических районах [7, 8]. На данный момент этот документ находится в стадии согласования в специализированных ведомствах. Более того, возникает новая задача – унифицировать изделия клееных деревянных конструкций наподобии сборных железобетонных изделий, что сделает данный материал еще более экономичным и позволит распространиться шире. Также возникает вопрос о долговечности и сроку эксплуатации многоэтажек. Проведение исследований в этой области могло бы значительно ускорить создание нормативной базы, и, соответственно, увеличить объёмы многоэтажного строительства из клееных древесных материалов.

Список литературы

1. Дворцова А.С., Ушаков А.Ю. Перспектива применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве // Строительство: наука и образование, 2023. Т. 13. Вып. 4. С. 75–82.
2. Ковальчук Л.М., Пьянов А.Н., Солоницын Д.С. Строительные конструкции из клееной древесины. Проблемы и решения // Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы», 2012 (декабрь). С. 28–30.
3. Лебедева М.А. Место клееных деревянных конструкций в современном строительстве и архитектуре // Молодой ученый, 2018. № 50. С. 46–48. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54810>.
4. Казиханов О.А. Технология изготовления клееных деревянных конструкций // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №06/2022. С. 6329–6343.
5. CLT-панели – технология, характеристики, применение в России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://inner.su/articles/clt-paneli-tekhnologiya-kharakteristiki-primenenie-v-rossii/>.
6. Трошина А.С. Перспективы применения CLT-панелей в строительстве зданий и сооружений агропромышленного комплекса // Научный журнал молодых ученых, 2024. С. 72–76.
7. Серов Е.Н. Рекомендации к совершенствованию норм проектирования деревянных конструкций // Известия Вузов. Строительство, 2003. № 4, С. 9–16.
8. Ковальчук Л.М., Пьянов А.И. Необходимость перехода на создание клееных деревянных конструкций из унифицированных элементов // Деревообрабатывающая промышленность, 2008. № 6. С. 19–20.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭВОЛЮЦИЕЙ ТЕХНОСФЕРЫ: МЕТОДИКА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЭТАПА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свириденко В. А.

Руководитель департамента по цифровому сопровождению проектов
ООО «Инжиниринговая корпорация «ИРБИС», г. Санкт-Петербург, Россия

Введение

Строительная отрасль, являясь ключевым фактором социально-экономического развития и формирования современной среды обитания человека, одновременно выступает одним из наиболее значимых источников антропогенного воздействия на глобальную экосистему. Согласно данным Программы ООН по окружающей среде (UNEP), на долю зданий и строительства приходится около 36 % мирового конечного энергопотребления и 39 % глобальных выбросов парниковых газов, ответственных за изменение климата [1]. В условиях ограниченности времени и ресурсов как для государства, так и для бизнеса, становится критически важной трансформация строительного сектора, внедрение инновационных процессов и технологий, вовлечение всех участников рынка в системное взаимодействие.

Российская Федерация, являясь одним из ключевых игроков на мировой арене, также активно включилась в этот процесс. После совещания по вопросам климатической стратегии и низкоуглеродной экономики в Правительстве РФ в феврале 2021 года и заявления Президента России В.В.Путина в апреле 2021 года о важности этой проблемы, летом того же года был принят Федеральный закон от 02.07.2021 № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов» [2]. Этот закон стал знаковым событием, законодательно закрепив основы регулирования выбросов парниковых газов в стране и обозначив национальный вектор движения к декарбонизации.

Традиционно усилия по снижению воздействия зданий на климат были сфокусированы преимущественно на сокращении «эксплуатационного» углерода (Operational Carbon) выбросов, связанных с потреблением энергии в процессе эксплуатации [3]. Этот подход, доминировавший на протяжении десятилетий, привел к значительному прогрессу в области энергоэффективности, стимулировав развитие технологий утепления, высокопроизводительных инженерных систем и возобновляемых источников энергии. Однако по мере того, как новые здания приближаются по своим характеристикам к стандартам близкого к нулевому энергопотребления (NZEB), на первый план выходит второй, ранее недооцененный компонент - «воплощенный» углерод (Embodied Carbon) [4]. Он представляет собой совокупность выбросов, аккумулированных на всех этапах жизненного цикла здания, предшествующих эксплуатации и следующих за ней: от добычи сырья и производства материалов до строительства, ремонтов и последующего сноса.

Ключевым инструментом количественной оценки углеродного следа в строительстве является метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ). ОЖЦ позволяет анализировать экологические воздействия здания или строительного продукта на всех этапах его существования – от добычи сырья до утилизации. В рамках строительной отрасли ОЖЦ применяется для сравнения проектных решений, выбора материалов и оптимизации конструктивных и инженерных систем с учётом экологических, энергетических и экономических критериев. На стадии проектирования ОЖЦ используется для определения оптимальных пассивных и активных стратегий энергосбережения, на этапе строительства – для минимизации отходов и выбросов, в период эксплуатации – для мониторинга энергопотребления и эмиссий, а при демонтаже – для оценки потенциала повторного использования и переработки материалов [5]. В практической деятельности LCA всё чаще интегрируется с цифровыми инструментами, прежде всего с информационным моделированием зданий (ТИМ), что позволяет автоматизировать расчёты и учитывать большое количество параметров на ранних стадиях принятия решений [6]. В этих условиях системный подход, основанный на применении оценки жизненного цикла, интеграции цифровых инструментов и принципов циркулярной экономики, становится необходимым условием эффективной декарбонизации строительного сектора и устойчивого развития застроенной среды [7].

Современное промышленно-гражданское строительство выступает одним из основных источников эмиссии парниковых газов, что оказывает прямое влияние на региональные климатические системы и природно-территориальные комплексы (ПТК). Для ПТК южной части Приневской низины (водосборный бассейн р.Охта) характерны избыточное увлажнение и высокая чувствительность к техногенному стоку. В этих условиях оценка жизненного цикла (ОЖЦ) материалов становится не просто инженерной задачей, а инструментом управления геоэкологическими рисками.

Методика. Интеллектуальная интеграция геоэкологических данных.

В рамках исследования разработана методика автоматизированной оценки показателей, реализованная при помощи инструмента интеллектуальной интеграции, обеспечивающая связь между цифровой информационной моделью (ЦИМ) и машиночитаемой отечественной базой экологических деклараций продукции.

Работа алгоритма базируется на принципах ISO 14044 и ГОСТ Р 56276-2014, охватывая модули жизненного цикла материала от добычи сырья (A1) до (C4) размещение и удаление отходов или (D) повторное использование. Центральным звеном является семантическое «картирование», которое позволяет соотносить позицию материала из ЦИМ (выполненных в отечественном ПО) с верифицированной базой данных отечественных экологических деклараций продукции, где расположена информация об углеродном следе на всех стадиях жизненного цикла, кроме (A4) транспортировка готовой продукции. Данная машиночитаемая база данных позволяет решить проблему отсутствия готовых библиотек ОЖЦ материалов в РФ.

Оптимизация этапа A4 транспортировка готовой продукции является

основным инструментом снижения нагрузки на ПТК. Для расчёта выбросов на данном этапе используется математическая модель (Activity-Based Method) в соответствии с методологией ISO 14083 и требованиями стандарта EN15804:

$$E(A4) = m * d * Ef \quad (1)$$

где m – масса груза (т), d – расстояние от завода до площадки (км), E_f – коэффициент выбросов = 0,068 (кг CO₂ – экв/(т·км) для тяжелого грузового транспорта (верифицирован GLEC Framework)

$$m = \rho * V \quad (2)$$

где ρ – плотность материала, а V – объём.

Показатель d отражает минимальное расстояние от завода производителя до конкретного объекта. Данный показатель рассчитывает инструмент интеллектуальной интеграции на основании исходных данных: адрес объекта вносится в диалоговое окно, адрес производителя берется из машиночитаемой базы данных из столбца «Адрес производственной площадки», если указано несколько адресов, то выбирается ближайший, путь выбирается исходя из доступного для тяжелого грузового транспорта с учетом запрета движения по некоторым общественным дорогам.

Расчёт этапа А4 интегрирован в работу инструмента искусственного интеллекта, что позволяет за секунды пересчитывать показатели по различным материалам и выбирать с наименьшим углеродным следом.

Результаты

В ходе апробации методики на объекте в д. Новосергиевка (Ленинградская область) был выявлен ряд критических логистических несоответствий. В исходных технических условиях (ТУ) был заложен бетон производства в Московской области, что является нерациональным по геоэкологии, ведь дистанция доставки 785 км привела бы к значительным показателям эмиссии. Инструмент интеллектуальной интеграции подсветил ошибку в ТУ и предложил вариант замены на «Бетон ЛСР» с транспортным плечом 10 км, что нивелирует логистический след и исключает риск порчи смеси из-за потери технологических свойств.

Аналогичный подход применен к теплоизоляции фасада общей площадью утеплителя 11686 м². Базовый материал каменной ваты производителя «Технониколь» имеет следующие адреса заводов: Рязань (Центральный регион): ООО «Завод ТЕХНО», г. Рязань, р-н Восточный промузел, д. 21, стр. 58; Заинск (Поволжье): ООО «Завод ТЕХНО», РТ, г. Заинск, ул. Автозаводская, д. 7.; Челябинск (Урал): Филиал ООО «Завод ТЕХНО», г. Челябинск, ул. Валдайская, д. 5.; Юрга (Сибирь): ООО «Завод ТЕХНО», Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Железнодорожная, д. 1., Белгород (Черноземье): ООО «Завод ТЕХНО», г. Белгород, ул. Константина Заслонова, д. 183., Красный Сулин (Юг): ООО «Завод ТЕХНО», Ростовская обл., г. Красный Сулин, ул. Заводская, д. 1., Хабаровск (Дальний Восток): ООО «ТЕХНОНИКОЛЬ Дальний Восток», г. Хабаровск, ул. Березовая, д. 30. Для объекта в д. Новосергиевка инструмент интеллектуальной интеграции определил ближайшую площадку производства: г. Рязань (Восточный промузел). Расстояние до объекта 915 км. В таблице 1

представлены показатели углеродного следа по этапу А4 Транспортировка продукции, полученные по исходным параметрам.

Таблица 1 – Показатели углеродного следа на этапе А4 для исходного материала

Площадь, м ²		Углеродный след, А4, кг СО ₂ экв
1584,47	Технониколь Техновент Оптима 50 мм	443,95
1583,96	Технониколь Техновент Оптима 100 мм	887,57
542,22	Технониколь Технофас Декор 50 мм	538,69
1775,28	Технониколь Технофас Декор 100 мм	1077,39
772,24	Технониколь Технофас 50 мм	348,57
997,62	Технониколь Технофас 100 мм	900,39
378,67	Технониколь Технофас Эффект 40 мм	127,32
1304,95	Технониколь Технофас Эффект 50 мм	548,08
530,62	Технониколь Технофас Эффект 100 мм	446,17
11,38	Технониколь Технофас Эффект 140 мм	14,11
1095,62	Технониколь Техноруф Н Оптима 100 мм	579,64
1110,89	Технониколь Техноруф Н Оптима 100 мм	760,39
11687,92		6672,27

Многокритериальный анализ и геоэкологический эффект

При подборе альтернативного материала методика анализирует не только геоэкологические показатели, но и технические характеристики, такие как (теплопроводность, плотность, срок службы), а так же экономические показатели. Так, например выбор утеплителя с двойной плотностью повышает долговечность конструкции до 50 лет, что снижает частоту реновационных циклов и, как следствие, долгосрочную нагрузку на ПТК.

В ходе апробации методики алгоритм автоматизированной оценки предложил заменить исходные материалы, на альтернативные производителя «Rockwool», учитывая технические характеристики и экономические. Дистанция доставки по данному материалу сократилась до 155 км, ведь заводы изготовителя по базе дынных находятся по следующим адресам: г. Балашиха, мкр. Железнодорожный, ул. Автозаводская, д. 48; г. Выборг, промзона «Лазаревка», ул. Промышленная, д. 3.; г. Елабуга, территория ОЭЗ «Алабуга», ул. Ш-2, корп. 1; г. Троицк, ул. Энергетиков, д. 1. Наиболее близкий адрес к объекту: г. Выборг, промзона «Лазаревка», ул. Промышленная, д. 3. Дистанция доставки сократилась в 4,9 раза, что привело сокращению углеродных выбросов на этапе (А4) транспортировка готовой продукции в 7,8 раз. В таблице 2 представлены показатели по альтернативному материалу.

Общий объем предотвращенных выбросов ограждающей конструкции многоэтажного жилого дома на этапе (А4) транспортировка готовой продукции составил 5816 кг СО₂ экв без учета ошибки в исходных технических условиях по бетону. В плоскости геоэкологии этот результат поспособствовал:

- Снижению нагрузки на ПТК: Оптимизация логистики позволила сохранить эквивалент годовой работы лесного участка площадью 0,27 Га.

- Сохранение климатического равновесия.
- Эффективности декарбонизации.

Таблица 2 – Показатели углеродного следа на этапе А4 для альтернативного материала

Площадь, м²	Наименование	Углеродный след, А4, кг СО₂ экв
1584,47	Rockwool Венти Баттс Д Оптима 50 мм	41,69
1583,96	Rockwool Венти Баттс Д Оптима 100 мм	76,18
542,22	Rockwool Рокфасад 50 мм	31,48
1775,28	Rockwool Рокфасад 100 мм	177,83
772,24	Rockwool Фасад Баттс Д Оптима 50 мм	45,30
997,62	Rockwool Фасад Баттс Д Оптима 100 мм	108,13
378,67	Rockwool Фасад Баттс Оптима 40 мм	19,17
1304,95	Rockwool Фасад Баттс Оптима 50 мм	82,53
530,62	Rockwool Фасад Баттс Оптима 100 мм	61,56
11,38	Rockwool Фасад Баттс Оптима 140 мм	1,95
1095,62	Rockwool Руф Баттс В Оптима 50 мм	92,41
1110,89	Rockwool Руф Баттс Н Оптима 100 мм	117,1
11687,92		855,33

Заключение

Переход от чисто экономической модели к многокритериальной геоэкологической оптимизации позволяет трансформировать цифровую информационную модель в средство управления состоянием техносферы. Автоматизированная методика выбора региональных поставщиков является ключевым инструментом декарбонизации, позволяя достигать целей устойчивого развития территорий без значительного увеличения вложений.

Данная методика может быть масштабирована на страны СНГ для формирования единого контура экологического мониторинга в строительстве.

Список литературы

1. International Energy Agency; Global Alliance for Buildings and Construction. Global status report for buildings and construction 2019: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 23.03.2026).
2. Об ограничении выбросов парниковых газов: федеральный закон Российской Федерации от 02.07.2021 № 296-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации, 2021. № 28. Ст. 4446.
3. Akbarnezhad A., Xiao J. Estimation and minimization of embodied carbon of buildings: A review // Buildings, 2017. Vol. 7, № 1. p. 5.
4. Ibn-Mohammed T. Operational vs. embodied emissions in buildings. A review of current trends // Energy and Buildings, 2013. Vol. 66. pp. 232–245.
5. Семенова С.А., Мельникова Е.В. Экологическая целесообразность применения контрактов LCA в градостроительной деятельности // *Экология урбанизированных территорий*, 2020. № 1. С. 93–100.
6. Лобикова О.М., Субоч А.В. Многофакторная комплексная оценка проектов с учетом LCA // Вестник Белорусско-Российского университета, 2025. № 1 (86). С. 69–80.
7. Hossain M.U., Ng S.T. Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy // Journal of Cleaner Production, 2018. Vol. 205. pp. 763–780.

АНАЛИЗ ГАЗОВЫХ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ, ЧАСТИЧНО-МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ И ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ

Стаценко В.Н., Садыков Р.Х.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, о. Русский, Россия

Введение

Сварка и резка – одни из самых главных и ключевых технологических процессов в современной промышленности, а именно: в машиностроении, в кораблестроении, в стальном мостостроении, в нефтегазодобывающей промышленности и в иных отраслях. До 60–65 % мирового потребления стального проката идет на производство сварных стальных сооружений.

В мировой практике сварочных процессов – 70–80 % приходится на дуговые методы. Однако, с возрастанием производства и потребления стальных конструкций в мире, увеличивается доля механизированных дуговых и плазменных процессов, таких как механизированная сварка в среде защитных газов различными проволоками (MIG, MAG), и плазменная резка, как и ручная, так и механизированная. Точных данных доли использования ручных, частично-механизированных дуговых способов сварки и плазменной резки в мировом производстве стальных конструкций нет, однако приблизительная цифра достигает до 60–63 %. Отдельно хотелось бы отметить, что достоинства механизированных процессов заключается в высокой производительности, уменьшение трудозатрат на единицу продукции, увеличение качества наплавленного металла и сварных конструкции в целом, уменьшение потерь сварочных материалов (по сравнению с традиционными «ручными» методами сварки и резки), уменьшение сварочного персонала.

Однако с ростом производства и применения ручных и частично-механизированных методов сварки, наблюдается рост опасных токсичных сварочных выбросов в атмосферу, таких как:

- оксиды азота (особенно двуокись азота NO_2) – вызывают острое отравление, симптомы: раздражение слизистых оболочек глаз, носа, кашель, отек легких [16];
- оксид углерода (угарный газ CO) – отравляющее действие этого оксида основано на способности создавать с гемоглобином в крови устойчивое соединение, которое препятствует нормальному газообмену. Симптомы острого отравления: учащенное сердцебиение, общая слабость, позывы к рвоте, давление в висках, в груди, спутанное сознание вплоть до его потери, судороги, удушье (асфиксия) [16];
- озон (O_3) – образуется при сварке и резке в инертных газах; отмечаются сухость во рту, раздражение слизистых глаз и носа, боль за грудиной, кашель, чувство сильной усталости, сердечно-сосудистые нарушения [16];
- диоксид углерода (CO_2) – углекислый газ без запаха и цвета, оказывает удушающий эффект, вызывает такие заболевания, как пневмокониозом и хронический бронхит [16];

В настоящее время литературных данных по концентрациям газовой составляющей сварочных выбросов непосредственно в зоне сварки

(околодуговая зона) недостаточно, и довольно трудно сопоставить со значением ПДК, однако рассматривается комбинированное воздействие твердой и газовой составляющих на здоровье сварщиков и окружающую среду.

В работах Института инженерной экологии Национального университета им.Сунь Ятсена [1] приводятся следующие данные по твердым газовым сварочным частицам по ручной и частично-механизированной сварке нержавеющей сталей марки AISI 304, AISI 308L в зоне работы сварщика:

- концентрация железа и его окислов $106,09 \text{ мкг/м}^2$;
- концентрация хрома и его оксидов $40,94 \text{ мкг/м}^2$;
- концентрация марганца и его оксидов $27,43 \text{ мкг/м}^2$.

Данные о газовой составляющей не приводятся.

В литературе [2] рассматривается влияние различных металлов и их окислов на образование гипертонии у сварщиков, в [3] комплексный анализ выбросов мелкодисперсных и ультрадисперсных частиц при различных видах сварки в промышленных условиях, в [4] рассматривается снижение токсичных выбросов при использовании электродов SMAW (ручной дуговой сварки покрытым электродом) из нержавеющей стали с нано-силикатным покрытием.

При определении выделений вредных выбросов в сварочных процессах используются расчетные методы с применением удельных показателей выделения загрязняющих веществ (на единицу массы расходуемых сварочных материалов; на длину реза; на единицу оборудования; на единицу массы расходуемых наплавочных материалов).

Методика [11] разработана в соответствии нормативными документами ГОСТ 17.2.1.04-77 и ГОСТ 17.2.4.02-81 [12, 13]. Аналогичные методики расчетов приведены в Техническом кодексе установившейся практики ТКП 17.08-02-2006 (02120), разработанным Минприроды Беларуси [14]. Требования настоящего технического кодекса применяют для расчета величин выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Результаты расчета используются [14]:

- при инвентаризации и нормировании выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- государственном, ведомственном, производственном контроле за соблюдением установленных нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- оценке воздействия на окружающую среду и проведении государственной экологической экспертизы;
- разработке проектной документации на строительство, реконструкцию, расширение, техническое перевооружение, модернизацию, изменение профиля производства, ликвидацию объектов и комплексов;
- установлении разрешенных (лимитируемых) объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- ведении первичного учета параметров воздействия на атмосферный воздух;
- ведении отчетности о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Примеры удельных показателей выделения загрязняющих веществ при частично-механизированной сварке приведены в таблице 1, при плазменной

резке – в таблице 2, при ручной дуговой – в таблице 3.

Таблица 1 – Удельные выделения вредных веществ при механизированной сварке [16]

Марка сварочного материала	Выделение загрязнителя, г/кг сварочного материала						Прочие загрязнители	
	Сварочный аэрозоль	Соединения марганца	Оксиды хрома	Фтористый водород	Оксиды азота	Оксиды углерода	Наименование	Количество
Проволока								
ЭП-245	12,4	0,54	-	0,36	-	-	Оксиды железа	11,50
ПП-106, ПП-108	12,0	0,70	-	-	0,80	-	Оксиды железа	0,70
Проволока								
СВ-08Г2С	9,70	0,50	0,02	-	-	14,00	Оксиды железа	7,48
СВ-Х19Н9Ф 2С3	7,00	0,42	0,03	-	-	14,00	Оксиды железа	0,04
СВ-10Х20Н7 СТ	8,00	0,45	0,03	-	-	-	-	-
СВ-16Х16Н2 5М6	15,00	2,00	1,00	-	-	-	Оксиды никеля	-
ЭП-245	12,40	0,61	-	-	-	3,20	-	-
СВ-08ХГН2 МТ	6,50	-	0,03	-	0,80	11,00	Оксиды титана	0,40
Проволока								
МНЖ-КГ5-1-02-0,2	18,00	0,30	-	-	-	-	Оксиды никеля	0,80
КМЦ	8,00	0,60	-	-	-	-	Медь	6,00
Д-20	10,90	0,09	-	-	-	-	Оксиды алюминия	7,60
АМЦ	22,10	0,62	-	-	2,45	-	-	20,00
АМГ-6Т	50,00	0,25	-	-	0,33	-	-	8,50
Алюминиевая	10,00	-	-	-	0,90	-	-	-
Титановая	14,70	-	-	-	-	-	Оксиды титана	5,00

Таблица 2 – Удельные выделения вредных веществ при плазменной резке [16]

Способ резки, вид и толщина металла, мм	Выделение на 1 пог. м реза, г/м, за 1 час работы													
	Аэрозоли		Mg		Cr		Ni		Al		CO		NO _x	
	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч
Резка стали углеродистой														
10	40	810	0,12	24					-	-	1,4	-	7	-
12	15	315							14	280	1,5	32	0,6	13
20	25	390							22	345	2,5	38	1	16
30	35	350							33	335	2,7	-	1,5	-
Резка стали низколегированной														
14	6	790	0,18	24							2	265	10	130

20	10	960	0,3	29							2,5	-	14	-
Резка стали легированной														
5	3	990			0,14	46					1,5	-	6	200
10	5	1370			0,24	66					1,9	470	10	-
20	12	1600			0,58	77					2,1	-	13	-
Резка стали марганцовистой														
5	4	790	0,72	140							1,4	-	7	128
10	6	765	1,16	150							2	265	10	-
20	10	920	1,73	170							2,5	-	13	-
Резка сплавов алюминия														
8	3	-							2,5	-	0,5	-	2	612
20	4	480							3,5	440	0,6	75	3	-
80	6,5	-							8	-	1	-	9	-
Резка сплавов титана														
10	3	455					2,7	425			0,4	-	11	160
20	7	645					6,4	515			0,5	40	15	-
30	12,5	680					12	640			0,6	-	19	-

Таблица 3 – Удельные выделения вредных примесей при ручной дуговой сварке (на 1 кг израсходованных электродов) [16]

Марка электродов	Количество вредных примесей, г/кг						
	Твердые частицы сварочного аэрозоля				Газообразные вещества		
	Кол-во твердых частиц	в том числе					
		марганец и оксиды	окись хрома	фториды	фтористый водород	оксиды азота	оксид углерода
УОНИ 13/45	18,0	0,9	1,4	3,45	0,75	1,5	13,3
УОНИ 13/55	16,0	1,1	1,0	1,0	-	2,76	13,3
УОНИ 13/65	7,5	1,41	0,8	0,8	1,16	-	-
УОНИ 13/80	11,2	0,78	1,05	1,05	1,14	-	-
УОНИ 13/85	12,1	0,69	1,3	1,3	1,1	-	-
АНО-1	9,6	0,43	-	-	2,13	-	-
АНО-3	17,0	2,2	-	-	-	-	-
АНО-4	17,8	1,05	0,41	-	-	-	-
АНО-5	10,7	1,44	-	-	-	-	-
АНО-6	16,3	1,54	-	-	-	-	-
ОЭС-3	15,2	0,41	-	-	-	-	-
ОЭС-4	9,9	1,37	-	-	-	-	-
ОЭС-6	11,4	0,86	-	-	-	-	-
ЭА-606/11	10,25	0,66	0,3	1,9	0,004	1,3	1,4
ЭА-395/8	18,5	1,2	0,32	-	0,9	-	0,5
ЭА-400/10У	7,2	0,48	0,85	0,02	-	0,99	-
ЭА-98/15	10,3	0,74	0,81	-	0,8	-	-

Эти методики позволяют рассчитать массовый выброс вредных веществ, но определить их концентрацию и сопоставить с предельно допустимыми концентрациями невозможно [17].

Цель работы – исследование непосредственных концентраций различных газовых компонентов в сварочных выбросах в рабочей зоне сварщика при применении ручной дуговой, частично-механизированной сварки в среде защитных газов и плазменной резки на примере сплошной и порошковых проволок, аустенитных нержавеющей сталей, сталей перлитного класса с пределом текучести до 300 МПа и титана.

За образцы для исследований были выбраны следующие распространенные марки электродов с покрытием и сварочных проволок, аттестованные в системе НАКС («Национальное агентство контроля и сварки») и широко применяющиеся в промышленном производстве (таблица 4), диаметр электродов составлял 3,2 мм. Сварка осуществлялась на аппарате «КЕДР» на следующих оптимальных режимах, рекомендованных производителями электродов: 80, 95, 110 А, площадь рабочей зоны сварщика составляла четыре квадратных метра, оборудованной местной вытяжной вентиляцией. Место отбора газовых выбросов (зона дыхания сварщика) – 150–250 мм над сварочной дугой. Отбор производился специальным газовым зондом с непосредственным измерением концентраций поверенным компактным высокоточным газоанализатором ОРТІМА7, серия №332452 (рисунок 1). Он представляет собой переносной прибор, предназначенный для определения концентрации CO , CO_2 , NO и NO_2 в воздухе и газах помещений и установок.

Таблица 4

Рутитовые d=3,2 мм	1	<i>Atlantic CHE 589-1 (E7018)</i>
	2	<i>Kiswel KST-308L</i>
	3	<i>Kiswel KR3000</i>
Основные d=3,2 мм	4	УОНИИ 13/55 ЛЭЗ
	5	<i>Nittetsu 16W</i>
	6	<i>Bohler Thermanit Chromo 9V</i>
	7	<i>CHL-608R</i>
	8	<i>KOBELCO LB-524</i>

За образцы для исследований при частично-механизированной сварке были выбраны следующие распространенные марки проволок, аттестованные НАКС (Национальное агентство контроля и сварки) и повсеместно применяющиеся на производстве: проволоки марок Kiswel K-316LT, Kiswel KC-28, Св-08Х20Н9Г7Т, диаметр проволок 1,2 мм. При плазменной резке выбраны распространенные конструкционные металлические материалы: сталь низкоуглеродистая СтЗсп5, сталь нержавеющей АіSi 304 и титановый сплав BT1-0, при резке сталей использовались толщины пластин 6, 10 и 14 мм, при резке титана 4 и 8 мм. Переменной величиной при резке выбрана толщина пластин, т.к. этот параметр значительно влияет на выбросы (таблица 2).

Сварка осуществлялась на сварочном полуавтомате марки Kemppi с источником питания KMS 400, и подающим механизмом МХ33 на следующих режимах:

– сварочный ток в диапазоне 90-120 А, с фиксированными точками 90, 100, 120А;

- напряжение на дуге 20-21 В;
- скорость подачи проволоки 5,0-5,6 метров в минуту;
- расход защитного углекислого газа 9-12 л/мин.

Место отбора газовых выбросов (зона дыхания сварщика) – 150–200 мм над сварочной дугой.

Резка осуществлялась на плазмотроне марки VimArc CUT-100 (рисунок 1, б) на следующих режимах:

- ток 80 А;
- давление газа – 0,50 МПа;
- плазмообразующий газ – воздух.

Место отбора газовых выбросов – 150–200 мм под зоной резки.

Площадь рабочей зоны сварщика составляла 4 м², оборудованной местной вытяжной вентиляцией. Отбор производился специальным газовым зондом с непосредственным измерением концентраций поверенным компактным высокоточным газоанализатором OPTIMA7, серия №332452 (рисунок 1). Он представляет собой переносной прибор, предназначенный для определения концентрации CO, CO₂, NO и NO₂ в воздухе и газах помещений и установок.



Рисунок 1 – Высокоточный газоанализатор OPTIMA7

Технические характеристики газоанализатора OPTIMA7 (производитель - MRU GmbH, Германия):

- электрохимические сенсоры O₂ и CO (срок службы до 6 лет);
- возможность установки ИК сенсоров CO₂, CH₄;
- количество газов одновременно: от 1 до 7 – на выбор (O₂, CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, CH₄, CO₂).

Диапазоны измерения и погрешности измерений газоанализатора OPTIMA7 приведены в таблице 5.

Таблица 5

Измеряемые параметры	Диапазон измерения	Погрешность
Оксид углерода CO	(0... 100) млн ⁻¹	±5 млн ⁻¹
	(св. 100... 300) млн ⁻¹	±5%
Оксид азота NO	(0... 100) млн ⁻¹	±10 млн ⁻¹
	(св. 100... 4000) млн ⁻¹	±10%
Диоксид азота NO ₂	(0... 50) млн ⁻¹	±5 млн ⁻¹
	(св. 50... 500) млн ⁻¹	±10%
Диоксид углерода CO ₂	(0... 5) %	±0,2%
	(0... 8) %	±0,5%

На каждом режиме измерения концентраций повторялись несколько раз, в результатах приводились средние значения.

Результаты исследований

Результаты измерений концентраций оксида углерода, диоксидов углерода и азота при механизированной сварке проволоками Kiswel K-316LT, Kiswel KC-28 и Св-08Х20Н9Г7Т представлены на рисунок 2, измерений концентраций оксида и диоксида азота при плазменной резке металлов – сталь низкоуглеродистая Ст3сп5, сталь нержавеющей АiSi 304 и титанового сплава ВТ1-0 представлены на рисунке 3.

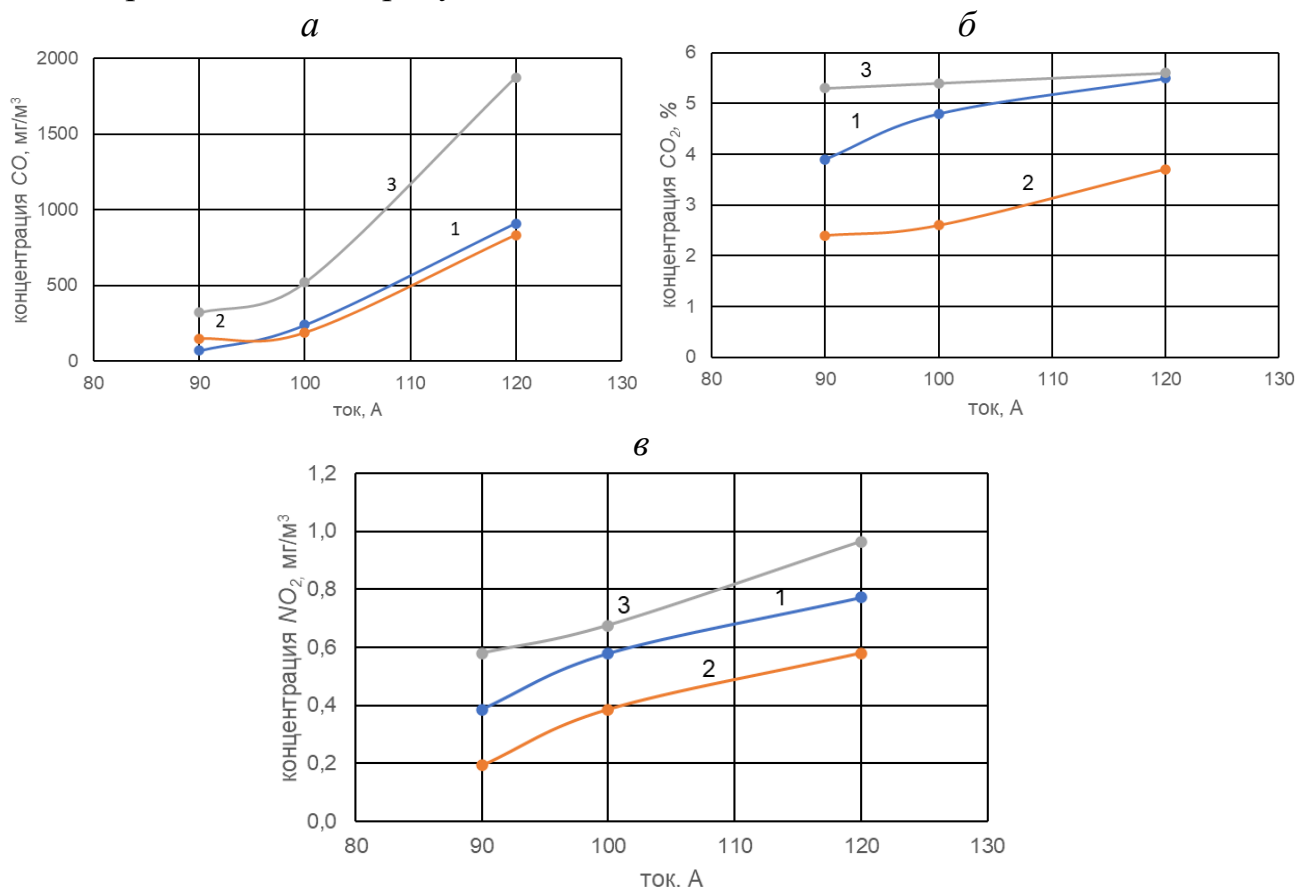


Рисунок 2 – Изменение концентраций оксида углерода (а), диоксидов углерода (б) и азота (в) при механизированной сварке проволоками:
1 – Kiswel K-316LT; 2 – Kiswel KC-28; 3 – Св-08Х20Н9Г7Т

Анализ полученных данных при механизированной сварке показывает следующее (рисунок 2).

1. Для всех марок сварочных проволок с увеличением величины сварочного тока значительно повышается концентрация оксида углерода CO и диоксида азота NO₂. Так для разных сварочных проволок при увеличении тока с 90 до 120 А концентрация CO повышается с 70–300 мг/м³ до 900–1800 мг/м³, концентрация NO₂ повышается с 0,2–0,6 мг/м³ до 0,6–1,0 мг/м³. Концентрация диоксида углерода увеличивается незначительно. Аналогичные данные получены в исследованиях [5–10].

2. Повышенное содержание оксида углерода CO объясняется следующим: при температуре свыше 709,98 °С (температура сварочной дуги до 5000–7000 °С)

исходя из значения энергии Гиббса для уравнений системы $CO-CO_2$, равновесие системы смещается в сторону образования CO из углерода и CO_2 . В присутствии твердого раствора внедрения углерода в области высоких температур концентрация CO_2 в газовой фазе уменьшается, и окислительная способность газа также уменьшается [15].

3. Повышенная концентрация газов CO и NO_2 при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т в отличие от остальных представленных проволок обуславливается ее многокомпонентностью (высоколегированием).

4. Поскольку давление дуги при механизированной сварке в защитном газе меньше, чем при ручной дуговой сварке покрытым электродом, а защищенность ее больше, то происходит последовательное окисление азота воздуха, частично подсасываемом защитным газом из окружающей среды в средние слои защиты. Непосредственно рядом с дугой образуется оксид азота в очень малых количествах в результате высокотемпературного окисления. После отдаления от дуги и разогретых слоев газа происходит дальнейшее окисление до NO_2 уже окисленного азота и азота из окружающей среды. Таким образом, концентрация NO почти отсутствует [15].

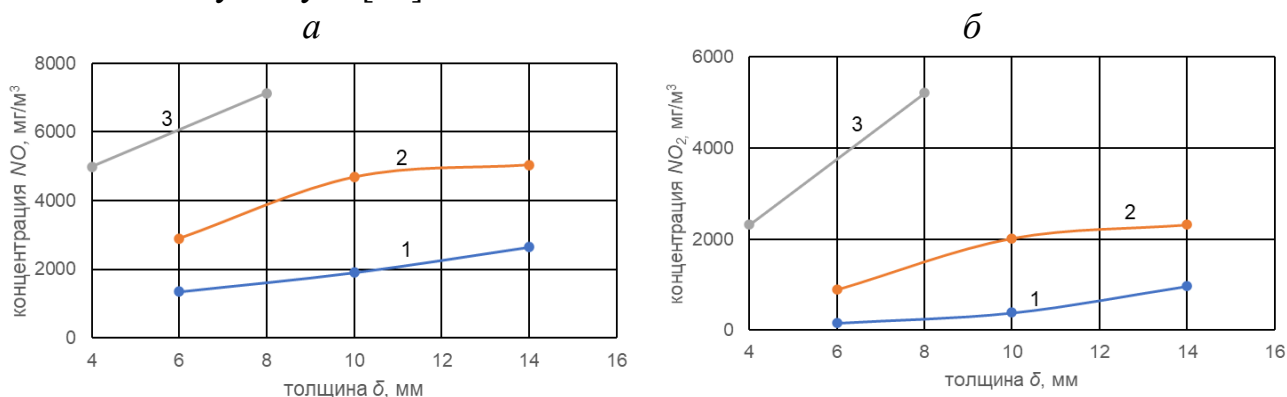
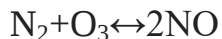


Рисунок 3 – Изменение концентраций оксида (а) и диоксида (б) азота при плазменной резке: 1 – сталь низкоуглеродистая СтЗсп5; 2 – сталь нержавеющая АiSi 304; 3 – титановый сплав ВТ1-0.

Анализ полученных данных при плазменной резке показал следующее (рисунок 3).

1. При высокой температуре $1527^{\circ}C$ (температура плазменной дуги до $7000-10000^{\circ}C$) и высокого давления азот из состава окружающей и плазмообразующей среды в зоне резки способен окисляться и образовывать оксид NO по реакции [15]:



Однако при такой температуре и давлении затруднено образование диоксида азота в связи с концентрацией избыточного кислорода в зоне резки путем подачи воздуха (увеличивается интенсивность процесса окисления с выделением энергии и повышении температуры), а также временем пребывания горения веществ в зоне реза.

2. Для всех видов материалов с увеличением толщины пластин повышаются концентрации оксида NO и диоксида NO_2 азота. Так для сталей при увеличении толщины пластин с 6 до 14 мм концентрации оксида и диоксида

азота повышается в 1,5–2 раза. Для титана при увеличении толщины пластин с 6 до 14 мм концентрация повышается более значительно – в 2–2,5 раза.

3. Наиболее низкие концентрации оксида и диоксида азота получены при плазменной резке стали низкоуглеродистой Ст3сп5, более высокие концентрации – при резке стали нержавеющей AiSi 304 и наибольшие концентрации – для титанового сплава BT1–0. Аналогичные данные получены в [5–10], где проведены подобные исследования измерения концентраций газов с учетом рассеивания на рабочем месте сварочных аэрозолей.

4. При плазменной резке выбросы диоксида азота значительно превышают значения концентраций при механизированной сварке. Это объясняется образованием при плазменных процессах огромных температур [15], которые являются основным условием образования этих оксидов.

Так как зависимости концентраций незначительно отличаются от линейных, полученные данные для механизированной сварки обобщены зависимостью вида

$$c = aI + b,$$

а для плазменной резки зависимостью вида

$$c = a\delta + b,$$

где c – концентрация, мг/м³; I – сварочный ток, А; δ – толщина металла, мм; a , b – коэффициенты, их значения для разных марок сварочных проволок при механизированной сварке и видов металла при плазменной резке приведены в таблице 6. Значения достоверности аппроксимации составляют $R^2=0,8–0,98$.

Таблица 6 – Значения коэффициентов

№		CO		CO ₂		NO		NO ₂	
		a	b	a	b	a	b	a	b
Механизированная сварка, проволока									
1	Kiswel K-316LT	28,7	2560	0,051	0,51	-	-	0,0124	0,7
2	Kiswel KC-28	24,1	2100	0,045	1,75	-	-	0,0124	0,9
3	Св-08Х20Н9Г7Т	53,9	4670	0,01	4,4	-	-	0,013	0,61
Плазменная резка, металлы									
4	Сталь низкоуглеродистая Ст3сп5	-	-	-	-	161	353	100	500
5	Сталь нержавеющая AiSi 304	-	-	-	-	270	1516	178	44,4
6	Титановый сплав BT1-0	-	-	-	-	538	2830	723	580

При измерениях концентраций при РДС выявлены выбросы токсичных составляющих – оксидов углерода CO и азота NO, выбросов диоксида азота NO₂ не обнаружено. Результаты измерений концентраций CO и NO для электродов рутилового типа представлены на рисунке 4, для электродов основного типа на рисунке 5. Результаты – представлены в графическом виде для разных типов сварочных материалов в виде зависимостей концентраций вредных выбросов газов от силы сварочного тока.

Анализ полученных результатов показывает следующее.

1. Практически для всех марок электродов с увеличением сварочного тока повышается концентрация оксидов углерода и азота. На изменение концентрации оксидов углерода влияет состав обмазки и химический состав прутка сварочного электрода. Аналогичные данные получены в [13], где проведены исследования в диапазоне рабочих сварочных токов 100–130 А, при этом концентрации выделений аэрозолей и двуокиси углерода при максимальных значениях тока превышают в два раза значения при минимальных токах.

2. Концентрация оксидов углерода для электродов рутилового типа значительно ниже, чем для электродов основного типа. Так для первых электродов на максимальных значениях сварочного тока концентрация оксидов углерода не превышает 30–40 мг/м³, для основного типа – 160–180 мг/м³. Эти данные подтверждаются результатами исследований в [18], где выделения аэрозолей и двуокиси углерода значительно ниже для рутиловых покрытий (по сравнению с покрытиями основными и целлюлозными).

3. Концентрация оксидов азота для электродов рутилового типа значительно ниже, чем для электродов основного типа. Так для первых электродов на максимальных значениях сварочного тока концентрация оксидов азота не превышает 20–30 мг/м³, для основного типа – 50–80 мг/м³.

4. Практически для электродов всех марок концентрация оксидов азота в 1,5–2 раза ниже, чем оксидов углерода и не превышает 50–80 мг/м³.

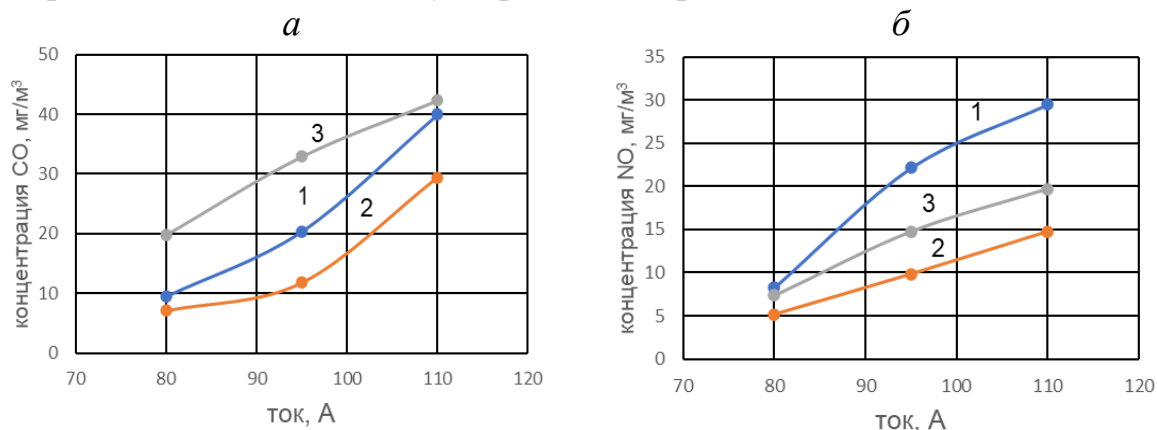


Рисунок 4 – Изменение концентраций оксидов углерода (а) и азота (б) для электродов рутилового типа 1 – Atlantic CHE 589-1 (E7018); 2 – Kiswel KST-308L; 3 – Kiswel KR3000

Так как полученные зависимости концентраций незначительно отличаются от линейной, полученные данные обобщены зависимостью вида

$$c = aI + b,$$

где c – концентрация, мг/м³; I – сварочный ток, А; a, b – коэффициенты, их значения для разных марок электродов приведены в табл. 7. В этой же таблице приведены значения достоверности аппроксимации, их величины составляют $R^2=0,8-0,98$.

Выводы

Результаты этих исследований показывают:

1. При частично-механизированной сварке плавящимся электродом в среде защитных газов конструкционных металлических материалов при увеличении силы тока и толщины материала пропорционально будут

увеличиваться концентрации CO , CO_2 , NO_2 . При этом, при увеличении легирующих элементов в сварочной проволоке, концентрации газовой составляющей выбросов будут увеличиваться.

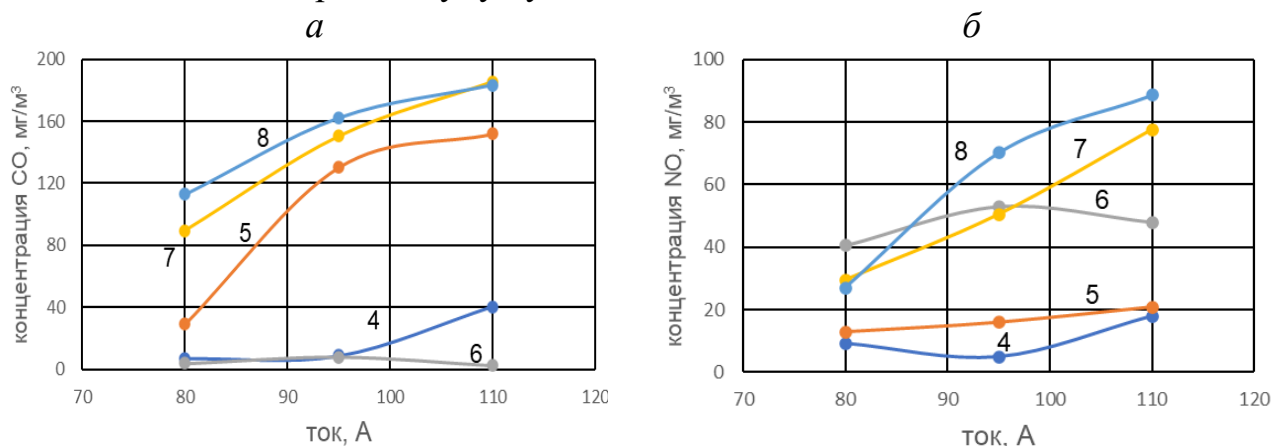


Рисунок 5 – Изменение концентраций оксидов углерода (а) и азота (б) для электродов основного типа. 4 – УОНИИ 13/55 ЛЭЗ; 5 – Nittetsu 16W; 6 – Bohler Thermanit Chromo 9V; 7 – CHL-608R; 8 – KOBELCO LB-524

Таблица 7

№	электрод	NO			CO		
		a	b	R ²	a	b	R ²
1	Atlantic CHE 589-1 (E7018)	0,71	-47,4	0,96	0,99	-72	0,98
2	Kiswel KST-308L	0,3	-18,7	0,99	0,71	-51	0,87
3	Kiswel KR3000	0,37	-20,7	0,98	0,77	-41	0,97
4	УОНИИ 13/55 ЛЭЗ	0,29	-16,9	0,43	1,1	-86	0,79
5	Nittetsu 16W	0,27	-8,7	0,98	3,9	-263	0,87
6	Bohler Thermanit Chromo 9V	0,61	-6,3	0,84	0,39	-17	0,98
7	CHL-608R	1,6	-97	0,98	3,1	-153	0,96
8	KOBELCO LB-524	2,1	-132	0,95	2,5	-86	0,94

2. При плазменной резке, концентрации NO , NO_2 не сравнительно больше, чем при механизированной сварке, однако концентрации оксидов углерода значительно меньше, и наблюдается их почти полное отсутствие. Можно так же отметить, что при увеличении легирующих элементов в материале, концентрации оксидов азота также будут увеличиваться.

3. Электроды с рутиловым покрытием имеют большую степень ионизации, как следствие меньше выброса в зону сварки вредных веществ по сравнению с электродами с основным покрытием. Для рутиловых электродов концентрация выбросов по оксиду углерода CO не превышает 40 мг/м^3 , для основных – 180 мг/м^3 . По оксиду азота NO для рутиловых электродов концентрация выбросов не превышает 30 мг/м^3 , для основных – 90 мг/м^3 . На образование оксидов углерода влияет состав обмазки и химический состав прутка сварочного электрода.

4. Образование оксида азота NO происходит при высокой температуре сварочной дуги в зоне сварки ($5000\text{--}7000 \text{ К}$) окислением азота кислородом из

состава окружающего воздуха, при этой температуре затруднено образование диоксида азота, в наших анализах этот вид оксида не обнаружен.

Список литературы

1. Pin-Hao Qiua, Chia-Hua Lina, Yen-Ping Pengb et al. Adverse pulmonary effects and metallic characteristic of size-resolved welding fumes in human lung epithelial BEAS-2B cells. // Environ Toxicol Pharmacol. Elsevier, 2025. Vol. 119. URL <https://doi.org/10.1016/j.etap.2025.104826> (дата обращения 12.03.2026)
2. Xiayun Dai¹, Fan Wang, Yonggang Liao et al. Associations of welding-related metals and hypertension in male welders: Roles of cytokines-block micronucleus cytome assay parameters. // Environmental Pollution. Elsevier, 2025. Vol. 373. URL <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126119> (дата обращения 12.03.2026).
3. Ondrej Machaczka, Vitezslav Jirik, Viera Brezinova et al. Evaluation of Fine and Ultrafine Particles Proportion in Airborne Dust in an Industrial Area // Int J Environ Res Public Health, 2021. № 18 (17). URL <https://doi.org/10.3390/ijerph18178915> (дата обращения 12.03.2026).
4. Rahul M., Sivapirakasam S.P., Prasanth C. et al. Reduction of toxic emissions from stainless steel SMAW electrodes using nano-silica coating. // Materials Chemistry and Physics, 2026. URL <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.131471> (дата обращения 12.03.2026)
5. Лебедев В.А. Особенности управления процессом сварки плавящимся электродом с импульсной подачей электродной проволоки // Сварка и Диагностика, 2014. № 1. С. 16–18.
6. Левченко О.Г. Влияние состава защитного газа и режимов сварки на валовые выделения сварочного аэрозоля // Автоматическая сварка, 1986. № 1. С. 73–74.
7. Левченко О.Г. Влияние технологических режимов сварки в CO₂ конструкционных сталей на выделение аэрозоля // Автоматическая сварка, 1992. № 9-10. С. 31–33.
8. Головатюк А.П., Сидорук В.С., Левченко О.Г. Интенсивность образования аэрозолей при ручной сварке модулированным током // Автоматическая сварка, 1985. № 2. С. 39–40.
9. Левченко О.Г. Образование аэрозолей при сварке в CO₂ модулированным током // Автоматическая сварка, 2000. № 8. С. 48–50.
10. Лебедев В.А., Левченко О.Г., Максимов С.Ю. и др. Гигиеническая характеристика механизированной дуговой сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Безопасность жизнедеятельности, 2015. № 9 (177). С. 15–18.
11. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (по величинам удельных выделений) СПб, 2000 г. 39 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293852/4293852100.pdf> (дата обращения: 12.03.2026).
12. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. М.: Издательство стандартов, 1978.
13. ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. М.: Издательство стандартов, 1982.
14. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.08-02-2006 (02120). Правила расчета выбросов. Минприроды Беларуси. Минск, 2006 г. 44 с. URL: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2022/07/17.08-02-2006.pdf> (дата обращения: 28.11.2025).
15. Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. и др. Теория сварочных процессов. Под редакцией Фролова В.В. М.: Высшая школа, 1988. 559 с.
16. Стаценко В.Н., Воробьев А.Ю., Садыков Р.Х. и др. Методика проектирования вентиляции сварочных цехов: учебное пособие для вузов // Политехнический институт, ДВФУ. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2022 70 с.
17. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/557235236> (дата обращения: 12.03.2026).
18. Tolga Mert, Levent Bilgili, Kutsi Mert Senoz et al Hazardous fume emissions in MMA welding of AH-36 steel with different electrodes and analysis with TAGUCHI and ANOVA // Fresenius Environmental Bulletin? 2017. Vol. 26. No. 1. pp. 318–322.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ, СЕЙСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ CLT-ЗДАНИЙ: АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ ДАННЫХ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛЫХ И СУХИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИИ

Хохлова Л. И., Голубева Т. П., Ринне И., Ринне Э. Э.

«Государственный Университет по Землеустройству», г. Москва, Россия

«Российский Университет Дружбы Народов», г. Москва, Россия

Введение

Строительная индустрия ищет возобновляемые материалы для снижения антропогенной нагрузки на климат. Концепция «зданий как глобального углеродного хранилища» [9] приобретает сторонников, а перекрестно-клееная древесина (CLT) рассматривается как ключевой инструмент декарбонизации. Использование CLT позволяет снизить углеродный след на 13–69 % по сравнению с железобетоном [8, 10].

Исследования CLT ведутся по всему миру: в США и Канаде [1, 5, 8, 12], Европе [3, 4, 19, 31], Турции [20, 21], Китае [33], Японии [30], Бразилии [22], Австралии [30], Индонезии [29] и других странах. Каждое государство разрабатывает собственные нормативные подходы, использует местные породы древесины и учитывает свой климат [30]. Это создает фрагментированную базу знаний, где результаты часто противоречат друг другу и не могут быть напрямую перенесены в иные климатические условия.

Для России с ее разнообразием климатических зон необходим критический анализ международного опыта. Особый интерес представляют теплые и сухие регионы (отдельные районы Южного федерального округа), где риск биопоражения ниже, чем во влажном климате, но возрастает роль перепадов температур, солнечной радиации и сейсмической активности.

Современные исследования CLT фокусируются на отдельных аспектах – биологической угрозе [1, 2], сейсмической устойчивости [3, 4], экологической эффективности [6, 7] и долговечности [27]. При этом отсутствует единая система оценки, а данные противоречат друг другу. Прогнозы долговечности 150–300 лет [27] не подтверждаются данными о скорости деградации соединений [1, 5], а землетрясения показали недостаточность норм проектирования [20].

Цель статьи – провести сравнительный анализ знаний о биологических, сейсмических, экологических аспектах и жизненном цикле CLT-зданий, выявить противоречия и определить границы применимости данных для строительства в теплых и сухих регионах России. Отбор источников проводился по критериям: 2020–2026 гг., рецензируемые статьи и обзоры в Scopus/WoS, географический охват (США, Европа, Турция, Чили, Азия), тематика (био-, сейсмо-, эко-устойчивость CLT).

Биологическая угроза

Исследования указывают на влажность как главный фактор риска. Источники увлажнения: осадки при строительстве, неправильное хранение,

конденсация, протечки [2]. Критические точки: торцы, соединения, контакт с фундаментом. Влажность >25 % длительное время приводит к развитию грибов. Древесина в CLT относится к 4 классу долговечности (нестойкие) [2, 13].

После 40 недель воздействия грибов несущая способность соединений снижается до 57 %, энергорассеивание – на 90 % [1]. Грибное поражение меняет механизм разрушения: разрушение идет по клеевому шву или древесине. Даже циклическое увлажнение без грибов снижает пластичность на 50 %. Коэффициент вариации >50 % делает прогнозирование невозможным [1].

Исследования [5, 14] подтвердили: герметизированные образцы теряют <5 % массы за 21 неделю, негерметизированные – 20–25 %. Термическая модификация ограничивает грибы [14], но снижает прочность [13]. Мицелий проникает через клеевой шов [15]. Фенольные клеи наиболее устойчивы, мочевино-формальдегидные – наименее.

В стеновых конструкциях на наружные 5 мм влияют дожди (40%), на внутренние слои – начальная влажность (до 26 %) [17]. Высыхание стройвлаги занимает 2–3 года, мембраны запирают влагу [12]. Торцы и зазоры между ламелями – главный риск, 5-слойные панели более подвержены деградации [34].

Сейсмическая угроза и эксплуатационные характеристики

Сравнение CLT и кирпича как заполнения рам показало: кирпич дает пиковую нагрузку 124,8 кН против 91,2 кН, но CLT пластичнее (дрейф 8,5 % против 4 %) [18]. Кирпич работает как диагональная распорка, вызывая хрупкое разрушение.

Двухлетний мониторинг в Чили выявил: жесткость меняется на 9 % по сезонам, при землетрясении M5.4 падает на 15 % с восстановлением [3, 4]. Обнаружена корреляция между влажностью и частотой.

Исследование 8-этажного здания Palisaden показало: при малых колебаниях жесткость соединений не влияет на частоты – они определяются геометрией [19]. При эксцентриситете >5 м сдвиговые моды сменяются крутильными.

CLT-здание по Еврокоду 8 может не выдержать реальных нагрузок [20]. Железобетонное здание, уцелевшее в Турции, имело индекс стен 1,5–1,84 % при норме 0,6 %. Для CLT таких требований нет [21].

Крепежные пластины критически важны для сейсмостойкости [29], но увеличение жесткости соединений снижает усталостную долговечность [29].

Исследование в Финляндии сравнило дома-близнецы из дерева и бетона [31]. Общая удовлетворенность одинакова (3,8/5), но температурный комфорт различается: в бетонном 94 % довольны, в деревянном – 68 % (21% жалуются на холод, 12 % на жару). Это следствие меньшей тепловой инерции дерева.

Экологическая эффективность

Согласно мета-анализу [11], снижение углеродного следа варьируется от 11 % до 310 %. Разброс объясняется отсутствием стандартизированных цепочек поставок и региональными различиями [22–24]. Барьеры: дефицит кадров, слабое развитие производств, скептицизм [11].

Критический параметр – срок службы. Динамический учет для гибридного

здания показал: окупаемость выбросов от вырубки леса – 23 года, полная компенсация – 67–80 лет [7]. Экологическая выгода реализуется только при длительной эксплуатации.

Выбросы при производстве CLT варьируются 103–846 кг CO₂-экв/м³ (разброс в 8 раз) [22]. Основные источники: лесозаготовки (дизель), электроэнергия, клеи. Углеродный след вне Европы на 52 % выше [23].

Выявлено расхождение между модельными и реальными оценками: модели занижают след на сотни кг/м². Гармонизация методологии сокращает разброс >80 % [24].

Сравнение стратегий: реновация и реконструкция с CLT имеют близкие GWP (7,12 vs 7,38 кг CO₂/м²/год), но реконструкция дает циркулярность 42 % против 25 % при удвоении стоимости [26].

Анализ Brock Commons показал: полностью деревянное здание теряет 86 % несущей способности, гибрид (бетонное ядро + дерево) снижает углерод на 52 % [6]. Масса такого здания на 33,2 % меньше, хранение углерода – 1,84×10⁶ кг CO₂-экв [8].

Экологические преимущества могут нивелироваться выбором клеев: карбамидоформальдегидные – наименее влагостойкие и наиболее токсичные, фенолформальдегидные стойче, но тоже дают эмиссию [25].

Обсуждение

Говорить о долговечности CLT-зданий в 150–300 лет преждевременно. Отсутствуют длительные наблюдения (самые старые CLT-здания построены в 1990-х). Экспериментальные данные указывают на быстрые деградационные процессы: соединения теряют 57 % прочности за 40 недель [1], высыхание стройвлаги занимает 2–3 года [12], грибы развиваются за месяцы [14]. Для окупаемости углеродного кредита нужно 67–80 лет [7], но биологические и сейсмические риски ставят под сомнение даже этот срок. Даже по оптимистичным прогнозам, обшивка живет 50–75 лет, отделка — 50–70 лет [27].

Чувствительность CLT к внешней среде проявляется на всех уровнях: сезонные колебания влажности меняют жесткость на 9–15 % [3,4], жители жалуются на температурный дискомфорт (32 % против 6 % в бетонном) [31]. Анализ выявляет системные противоречия (таблица 1).

Таблица 1 – Противоречия в рекомендациях исследователей

Аспект	Рекомендация А	Рекомендация Б	Суть противоречия
Герметизация	Герметизировать торцы [14]	Герметизация мембранами запирает влагу [12]	Спасает от воды, но замедляет высыхание
Клеи	Фенольные наиболее стойкие [15]	Фенольные дают эмиссию формальдегида [25]	Самые стойкие – самые токсичные
Термомодификация	Эффективна против грибов [14]	Снижает механические свойства [13]	Защита ценой потери прочности
Утеплитель	Минвата лучше сушит [17]	PUR лучше греет [17]	Компромисс сушка/теплоизоляция

Жесткость соединений	Увеличивать жесткость [29]	Рост жесткости снижает усталость [29]	Жесткость сегодня – разрушение завтра
Срок службы	150–300 лет [27]	Деградация за 40 недель [1]	Разрыв в 390 раз
Учет углерода	Период LCA 60 лет [30]	Нужно 67–80 лет [7]	Нормы и расчеты не совпадают
Сейсмика	Еврокода 8 достаточно ЕС8	Недостаточно [20]	Нормы не работают
Биогенный углерод	Учет "-1" [22,23]	Динамический учет [7]	Мгновенный кредит под будущее
Защита от влаги	Паронепроницаемые мембраны [28]	Паропроницаемые слои [28]	Защита препятствует сушке
Температурный комфорт	Общая удовл. 3,8/5 [31]	32% недовольны температурой [31]	Общая оценка маскирует проблемы

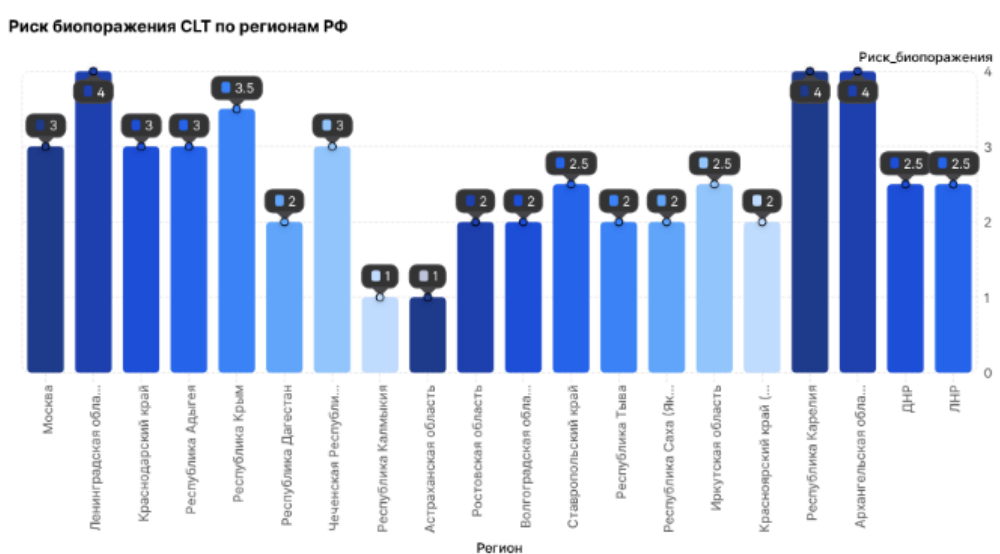
Стандарты разных стран различаются [30], методологии LCA не гармонизированы (разброс 8 раз) [22–24]. Влага – интегрирующий фактор: запускает грибки [2], определяет жесткость [3, 4], вызывает деградацию [28], влияет на выбор клеев [7, 15] и комфорт [31]. Гибридные системы – компромисс: снижение углерода на 52 % при допустимых нагрузках [6].

Климатическое зонирование для применения CLT в России

Зонирование выполнено на основе СП 131.13330 (влажность, температура), СП 14.13330 и ОСП-97 (сейсмика), данных Гидрометцентра (УФ-радиация). Категории риска (низкий/средний/высокий) присвоены по интегральной оценке.

Для теплых и сухих регионов России характерен пониженный риск биопоражения [2, 17], но на первый план выходят другие факторы: температурный комфорт [31], солнечная радиация, сейсмические риски [20, 21].

Таблица 2 – Предварительное зонирование территории РФ на основе анализа климатических факторов и рисков, выявленных в международных исследованиях

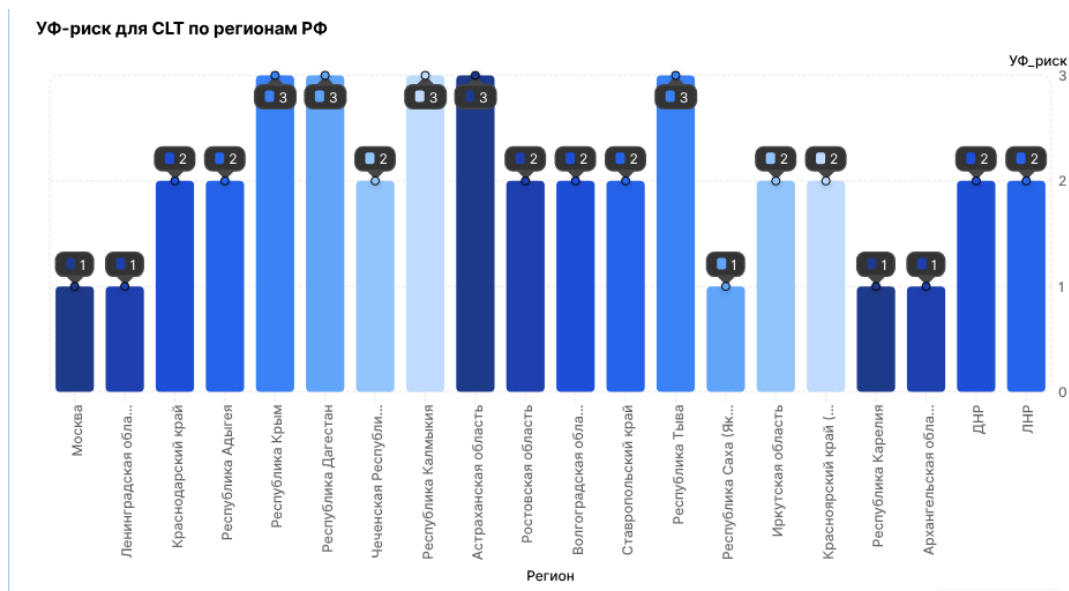


Длительное УФ-воздействие ускоряет деградацию покрытий [32]. Совместное действие влажности, температуры и УФ приводит к ускоренному старению, причем 5-слойные панели более уязвимы, а торцы и зазоры – главный

риск [34]. Перспективны TiO_2 – покрытия [33].

Как видно из таблицы 2, наиболее перспективными регионами для внедрения CLT являются южные сухие зоны (Калмыкия, Астраханская область, сухие районы Дагестана) и резко-континентальные сухие регионы (Тыва, юг Красноярского края, Иркутская область). Наименее перспективны влажные регионы (Карелия, Архангельская область, Ленинградская область).

Таблица 3 – Уровень УФ-риска для CLT по регионам РФ



Оценка выполнена на основе анализа климатических данных и интенсивности солнечной радиации. Значения УФ-риска: 1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий. Для регионов с высоким УФ-риском (Республика Крым, Республика Дагестан, Республика Калмыкия, Астраханская область, Республика Тыва) рекомендуется применение специальных УФ-стойких покрытий, например, на основе наночастиц TiO_2 [33] или акриловых составов с антимикробными добавками [32].

Для обоснованного применения CLT в России необходимо зонирование, учитывающее:

- влажностный режим;
- температурные амплитуды;
- сейсмическую активность;
- интенсивность солнечной радиации;
- конструктивные параметры [34].

Заключение

О долговечности CLT говорить преждевременно: данные указывают на быстрые деградационные процессы, прогнозы 150–300 лет не подтверждены.

Рекомендации исследователей противоречат друг другу (таблица 1). Единая методология проектирования отсутствует.

Чувствительность деревянных зданий проявляется на всех уровнях – от жесткости до комфорта.

Для применения CLT в России необходим учет климатического

разнообразия. В теплых и сухих регионах риск биопоражения снижен, но возрастает роль температурного комфорта, солнечной радиации и сейсмики.

Требуется разработка климатического зонирования РФ для применения CLT.

Гибридные системы – рациональный компромисс, снижающий углерод на 52 % [6].

Список источников

1. Udele K.E., Morrell J.J., Cappellazzi J. et al. Characterizing properties of fungal-decayed cross laminated timber (CLT) connection assemblies. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 409. p. 133872.
2. Cappellazzi J., Konkler M.J., Sinha A. et al. Potential for decay in mass timber elements: A review of the risks and identifying possible solutions. *Wood Material Science & Engineering*, 2020. Vol. 15. No. 6. pp. 351–360.
3. Opazo-Vega A.I., Jara-Cisterna A.F., Benedetti F.P. Evaluation of the variability of the dynamic properties of a cross-laminated timber (CLT) building prototype over two years. *Proceedings of the 2nd Latin-American Workshop on Structural Health Monitoring (LATAM-SHM 2026)*, 2026.
4. Jara-Cisterna A., Benedetti F., Rosales V. et al. Vibration-based monitoring of a cross-laminated timber building in a high seismicity zone. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2025. Vol. 15. pp. 333–353.
5. Udele K.E., Morrell I., Morrell J. et al. Biological durability of cross-laminated timber connections: Data on performance after fungal decay. *Data in Brief*, 2024. Vol. 55. p. 110698.
6. Kathiravel R., Hou D., Feng H. Optimizing structural and environmental performance in mass timber hybrid high-rise buildings through parametric design. *Journal of Building Engineering*, 2026. Vol. 118. p. 115005.
7. Chen B., Eckelman M.J., Laboy M. et al. Comparative life cycle assessment for two structural framing plan alternatives in a composite hybrid steel-cross laminated timber (CLT) building. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2025. Advance online publication.
8. Chen Z., Gu H., Bergman R.D. et al. Comparative life-cycle assessment of a high-rise mass timber building with an equivalent reinforced concrete alternative using the Athena Impact Estimator for buildings. *Sustainability*, 2020. Vol. 12. No. 11. p. 4708.
9. Churkina G., Organschi A., Reyer C.P.O. et al. Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 2020. Vol. 3. pp. 269–276.
10. Brind'Amour M., Bertrand S. Building sustainably: Mass timber [Fact sheet]. *Environmental and Energy Study Institute*. 2023. <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-building-sustainably-mass-timber-september-2023>.
11. Santos F.L.D.L., Santos H.F., Costa L.L. et al. Mass timber as a tool to sustainable construction: A review. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 2025. Vol. 19. No. 3. p. e01123.
12. Johns D., Richman R. Dry-out behaviour of cross-laminated timber (CLT) edge conditions in roof assemblies: A field study. *Structures*, 2025. Vol. 72. p. 108210.
13. Ayanleye S., Udele K., Nasir V. et al. Durability and protection of mass timber structures: A review. *Journal of Building Engineering*, 2022. Vol. 46. p. 103731.
14. Jiang X., Van den Bulcke J., Van Acker J. et al. An X-ray μ CT assessment of fungal degradation in poplar-CLT. *Holzforschung*, 2026.
15. Kartal S.N., Singh T. Decomposition of glue bonding in glue-laminated timber products by water intrusion and fungal decay. *Forestist*, 2026. Vol. 76. p. 2612.
16. Bagheri S., Alinejad M., Ohno K. et al. Improving durability of cross laminated timber (CLT) with borate treatment. *Journal of Wood Science*, 2022. Vol. 68. p. 34.
17. Blommaert A., Steeman M., Van Den Bossche N. Modeling moisture accumulation and decay potential in cross-laminated timber wall assemblies exposed during the construction phase. *Buildings*, 2025. Vol. 15. No. 7. p. 1075.

18. Yastari F.P., Tanjung J., Maidiawati et al. Seismic performance comparison of reinforced concrete portal frames with brick masonry and CLT infill panels. *Proceedings of the 3rd International Conference on Disaster Management and Mitigation (ICDMM 2025)*, 2025.
19. Ussher E., Gurholt C.-U.D., Mikalsen J.N. et al. Effect of construction features on the dynamic performance of mid-rise CLT platform-type buildings. *Wood Material Science & Engineering*. 2022. Vol. 17. No. 4. pp. 261–273.
20. Tonyali Z., Lakot Alemdağ E., Tandoğan Kibar G. Evaluation of seismic response of the cross-laminated timber (CLT) multi-storey residential building under the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2024. Vol. 9. No. 1. pp. 1–15.
21. Tonyali Z., Kiral A., Ergun M. et al. Seismic resilience of existing RC dual-system buildings during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes: A case study. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2025. pp. 1–20.
22. Caldas L.R., Sierra-Pérez J., Toledo Filho R.D. et al. Evaluation of GHG emissions from the production of cross-laminated timber (CLT): Analysis of different life cycle inventories. *Proceedings of the 4th International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM 2021)*, 2021.
23. Ijeoma M.W., Ou S., Ijeoma G.W. et al. Assessing the energy demand, carbon footprint and other environmental impacts from mass timber production: A critical review and meta-analysis. *Environmental Research Communications*, 2025. Vol. 7. No. 11. p. 112001.
24. Ijeoma M.W., Ou S., Nabati A. et al. Critical review, meta-analysis and harmonization of life cycle assessment of mass timber construction: Reducing variability in environmental impact estimates. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2025. Vol. 5. No. 3. p. 032002.
25. Almeida M.L., Gonçalves F.D., Martins J. et al. Addressing formaldehyde emissions in wood-based panels: Evaluation of production processes, measurement strategies, and novel solutions. *The Journal of Adhesion*, 2024. pp. 1–32.
26. Dragonetti L., Papadaki D., Mazzoli C. et al. Circular deep renovation versus demolition with reconstruction: Environmental and financial evaluation to support decision making in the construction sector. *Energy and Buildings*, 2025. p. 115610.
27. Attia S. et al. Extending the service life of tall timber buildings: Expert insights and strategies. *Design of Taller Timber Buildings*. Springer, 2025.
28. Kukk V., Kers J., Kalamees T. et al. Impact of built-in moisture on the design of hygrothermally safe cross-laminated timber external walls: A stochastic approach. *Building and Environment*, 2022. Vol. 226. p. 109736.
29. Denisiwicz A., Socha T., Kula K., Wencel M. Numerical modeling of the fatigue strength of timber joint connections with connector plates. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 2025. Vol. 35. No. 3. pp. 136–149.
30. Kurzinski S., Crovella P., Kremer P. Overview of cross-laminated timber (CLT) and timber structure standards across the world. *Mass Timber Construction Journal*, 2022. Vol. 5. No. 1. pp. 1–13.
31. TVT Asunnot. Residents of apartment building twins almost equally satisfied, 2022. <https://www.tvt.fi/en/Residents-of-apartment-building-twins-almost-equally-satisfied/#site-header>.
32. Bobadilha G.d.S., Stokes C.E., Ohno K.M. et al. Physical, optical, and visual performance of coated cross-laminated timber during natural and artificial weathering. *Coatings*. 2021. Vol. 11. No. 2. p. 252.
33. Sedhain G., Kim Y., Mubarak S.A., Eberhardt T.L. Evaluation of weathering resistance of cross-laminated timber blocks surface-treated with TiO₂ nanoparticles by liquid-precursor flame spray pyrolysis. *Construction and Building Materials*, 2024. Vol. 419. p. 135481.
34. Golkarieh S. Towards Analyzing the Impact of Weathering on the Performance of Mass Timber: Considering Moisture Cycling, Solar Radiation, and Temperature Cycling [Master's thesis]. Toronto Metropolitan University, 2024.

Раздел 2

ЗАМКНУТЫЙ РЕСУРСНЫЙ ЦИКЛ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Данилов О. С.¹, Мезенцев А. Ю.¹, Таскин А. В.², Алексейко Л. Н.³

¹ ФГБОУ ВО «Заполяный государственный университет им.Н.М.Федоровского», г. Норильск, Россия

² ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

³ «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь

Анализ состояния проблемы

Зола и шлак являются продуктами сжигания угля на ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС и относятся к числу многотоннажных промышленных отходов энергетической промышленности. Доля угля в мировом производстве электроэнергии составляет около 40 %. В Российской Федерации его потребление растёт, прежде всего в регионах, ограниченных другими видами топлива. По прогнозам специалистов, в среднесрочной перспективе потребление ископаемого угля в тепловой энергетике страны в течение последующих пяти лет может увеличиться до 150 млн т в год. Пропорционально добыче угля растёт и количество золошлаковых отходов (ЗШО) [1, 2].

По информации Министерства природных ресурсов и экологии России отечественные угольные электростанции каждый год производят до 22 млн т. золошлаков. Общий объем ЗШО в настоящее время оценивается в 1,5–1,8 млрд т. Негативное влияние золошлаковых отходов проявляется в следующем [3]:

1. Увеличение техногенной нагрузки на различные экосистемы (проникновение загрязненной твердыми частицами и нефтепродуктами жидкой фазы в грунтовые воды, загрязнение воздуха пылевыми выбросами и др.).

2. Предприятия энергетики несут значительные затраты, связанные с хранением и размещением ЗШО, поскольку их складирование занимает значительные площади (тысячи гектар земли). При этом сейчас практически сведены к минимуму свободные объемы хранилищ для ЗШО, на большинстве теплоэлектростанций они переполнены.

3. Негативное влияние на здоровье население, так как часть золоотвалов находится в непосредственной близости к городским застройкам, местами расстояние не превышает 1,5 км.

Несмотря на это переработка ЗШО в России недостаточно развита. Так, если в западных странах уровень рециклинга золошлаков тепловой энергетики колеблется от 70 до 100 %, то в нашей стране по данным национальной Ассоциации развития вторичного использования сырья на май 2025 года в рамках реализации комплексного плана Правительства Российской Федерации по повышению объемов утилизации ЗШО (решение Правительства Российской Федерации №1557-р от 15.06.2022) были достигнуты следующие показатели по регионам, генерирующим наибольший объем ЗШО [4]:

1) Красноярский край (объем генерации – 1,2 млн т/год) – уровень переработки – 49 %;

2) Кемеровская область (объем генерации – 1,4–2,5 млн т/год) – уровень переработки – 18–27 %;

3) Иркутская область (объем генерации – 1,9–2,1 млн т/год) – уровень переработки – 13–16 %;

4) Свердловская область (объем генерации – 4,3–5,2 млн т/год) – уровень переработки – 12 %;

5) Приморский край (объем генерации – 1,8–2,7 млн т/год) – уровень переработки – 1 %.

При этом есть крупные регионы, например, такие как Республика Саха (Якутия) где переработка в рамках реализации комплексного плана вообще не осуществлялась (на 2022 г. – 0 %).

В целом в рамках реализации инициативы Федерального Правительства страны планировалось увеличение утилизации ЗШО тепловой энергетики до 15 % в 2024 году и до 50 % в 2035 году.

Государственная инициатива базируется на выгоды переработки золы и шлаков тепловой энергетики как товарного ресурса, обладающего следующими преимуществами:

1. ЗШО являются дешевым, доступным, невзрывоопасным и негорючим техногенным отходом.

2. При работе с золошлаковыми отходами не требуется:

– проводить поисковые работы, в отличие от природных месторождений полезных ископаемых;

– открывать капиталоемкие горные предприятия для добычи;

– перемещать ресурсы, так как ЗШО локализованы на специальных полигонах (шлаконакопителях) и готовы к переработке на месте их генерации.

3. ЗШО обладают уникальным физико-химическим составом, что позволяет им стать исключительным ресурсом для высокотехнологичных предприятий, обеспечивая значительный экологический, социальный и экономический эффект.

По составу основную массу ЗШО составляют оксиды, в том числе: диоксид кремния (оксид кремния IV) – 45-60 %; оксид алюминия – 10,1-21,8 %; оксид железа – 4,1-10,6 %; оксид кальция – 2,5-9,6 %; оксид магния – 0,5-4,8 % и серный ангидрид – 0,03-2,7 % [5].

Как видно из представленных данных ключевым компонентом золошлаков тепловой энергетики выступает диоксид кремния (кремнезем). Он может быть получен в самых различных формах – от синтетического до так называемой «белой сажи» (микродисперсной аморфной формы диоксида кремния), на которую приходится большая часть современного мирового рынка производства и потребления [6, 7].

По своему агрегатному состоянию аморфная форма диоксида кремния представляет собой микрокристаллический порошок, состоящий из частиц размером 1–100 нм, имеющий широкую область применения в промышленности: от электроники до фармацевтической промышленности.

В России аморфный диоксид кремния продукт почти полностью импортный. Так по сравнению с потребностями различных отраслей

промышленности (десятки-сотни тысяч тонн) отечественные предприятия производят его в недостаточных объемах. Например, с 2016 по 2019 гг. в страну было импортировано 214000 тонн продукта, при этом внутреннее производство составило всего 16784 т. При этом необходимо отметить, что объем отечественного рынка диоксида кремния каждый год возрастал [8].

Если говорить о глобальном рынке рассматриваемого товарного продукта, то его объем измеряется миллионами тонн. Согласно данным «Market Research Future» на 2024 г. объем рынка составил 9,3 млрд долл. США, с прогнозом его роста к 2035 г до 17,2 млрд долл. США [9].

Технологические решения по извлечению диоксида кремния из ЗШО

Переходя к рассмотрению существующих технологических решений по извлечению диоксида кремния из золошлаковых отходов теплоэнергетики, проиллюстрируем типовой процесс сжигания угля с образованием шлака и летучей золы (рисунок 1).

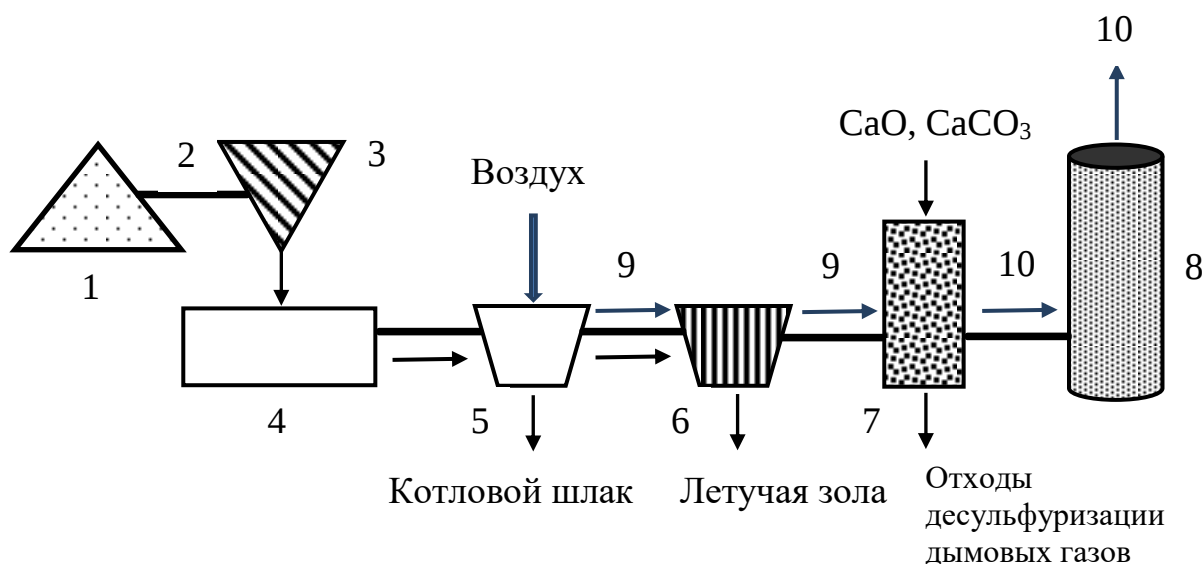


Рисунок 1 – Типовой процесс сжигания угля: 1 – угольный штабель; 2 – угольный конвейер; 3 – угольный бункер; 4 – угольная дробилка; 5 – топка; 6 – электрофильтр; 7 – скруббер SO_2 ; 8 – дымовая труба; 9 – CO_2 , H_2O , NO_x , SO_x ; 10 – CO_2 , H_2O , NO_x .

Типовой процесс сжигания ископаемого угля можно вкратце представить следующим образом:

1. Из угольного штабеля 1 посредством конвейера 2 твердое ископаемое топливо аккумулируется в бункере 3, откуда поступает на угольную дробилку 4.

2. Далее из дробилки 4 измолотый уголь подается в топку 5 с воздушным дутьем. На этом этапе образуется первый техногенный отход – котловый шлак (несгоревшие крупные частицы минеральной части твердого топлива). Также при сжигании измельченного твердого топлива образуется смесь газов 9, представленная CO_2 , H_2O , NO_x , SO_x .

3. В воздушном потоке из топки 5 во взвешенном состоянии присутствуют очень мелкие частицы несгоревшего топлива. Этот поток вместе с газообразными продуктами горения 9 подаются на электрофильтр 6, где образуется второй техногенный отход – летучая зола.

4. Из электрофилтра 6 газообразные продукты горения 9 для улавливания оксидов серы (SO_x) подаются в скруббер SO_2 7, где добавляются CaO и CaCO_3 для нейтрализации SO_x с образованием отходов десульфуризации дымовых газов.

5. Очищенная от SO_x смесь газов 10 (CO_2 , H_2O , NO_x) подается в дымовую трубу.

Анализируя результаты работ [10–35] рассмотрим ключевые методы извлечения диоксида кремния из золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики.

Согласно работе [22] принципиальную схему извлечения диоксида кремния из летучей золы можно представить следующим образом (рисунок 2).

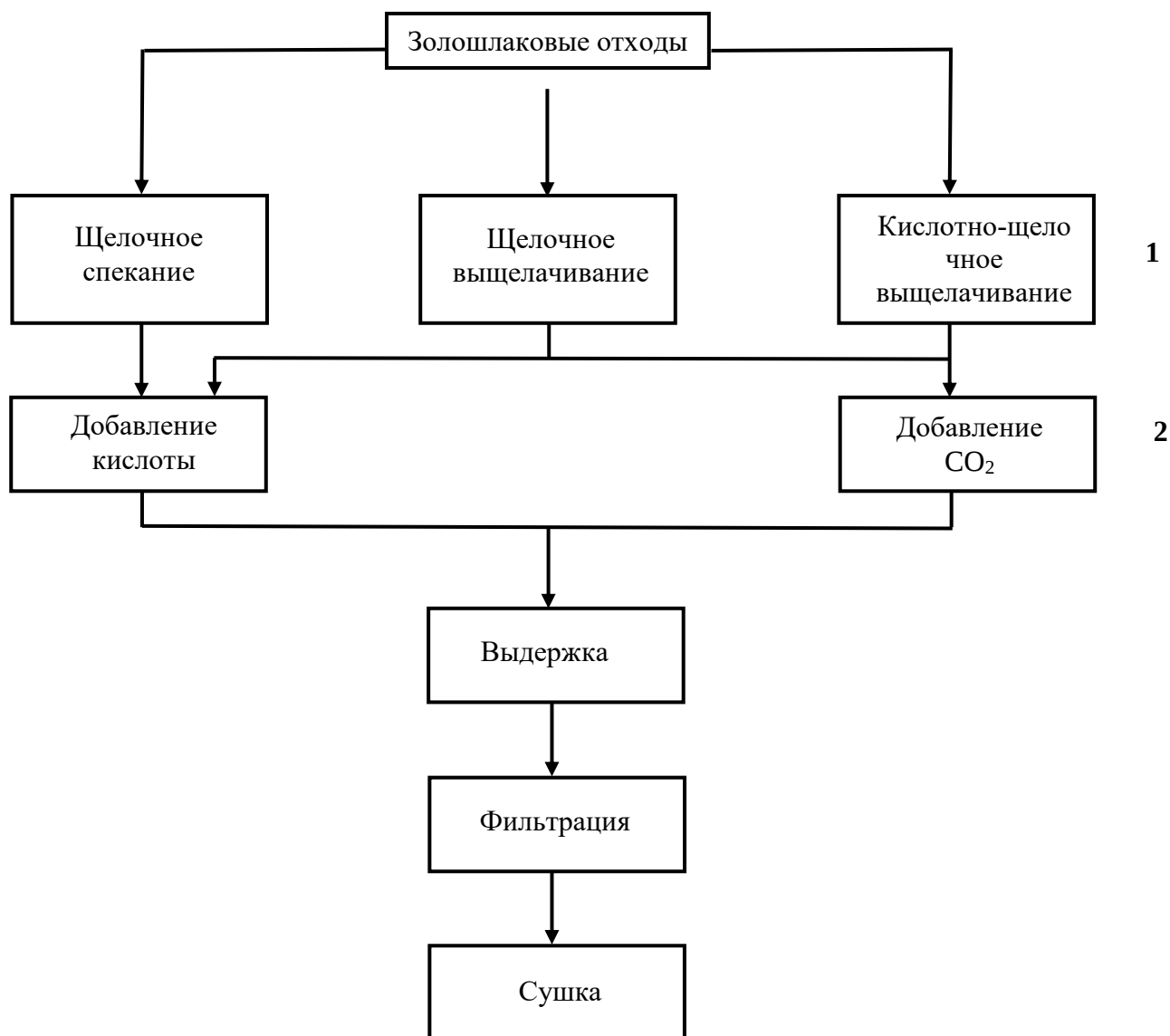


Рисунок 2 – Принципиальная схема извлечения диоксида кремния из золошлаковых отходов тепловой энергетики: 1 – предварительная обработка; 2 – золь-гелеобразование

Суть схемы заключается в предварительной обработке ЗШО (щелочным спеканием, щелочным выщелачиванием, кислотно-щелочным выщелачиванием) с:
– выдержкой раствора при определенной температуре и времени с

получением маточного раствора с кристаллическим осадком SiO_2 , который потом фильтруют;

– добавлением после кислотной обработки отходов CO_2 , выдержкой при определенной температуре и времени с получением золь-геля с дальнейшей фильтрацией и сушкой.

Метод щелочного спекания представляет собой смешивание ЗШО с различными щелочами, например, едким натром (NaOH), карбонатом натрия (Na_2CO_3) с последующим кальцинированием при высокой температуре.

Щелочным выщелачиванием силикатный раствор из техногенных отходов тепловой энергетики получают путем смешивания ЗШО с щелочными растворами (NaOH , KOH) при температурах 100–150 °С.

Кислотно-щелочной метод получения диоксида кремния из золошлаковых отходов энергопредприятий ТЭК включает:

1) предварительную активацию отходов путем их обработки гидрокарбонатом натрия (NaHCO_3) с нагревом в температурном интервале от 100 до 200 °С;

2) процесс выщелачивания – отходы после активации обрабатываются кислотой, например H_2SO_4 или определенной щелочью, например, едким натром. Температура нагрева смеси кислоты или щелочи с ЗШО 100–105 °С;

3) фильтрацию – в результате получается маточный раствор и твердый SiO_2 осадок [33].

Рассмотрим результаты различных зарубежных и отечественных исследователей по извлечению диоксида кремния из ЗШО.

Erol M., Küçükbayrak S. и Ersoy-Meriçboyu A. исследовали получение диоксида кремния из ЗШО методом щелочного спекания [13]. Авторами было экспериментально установлено, что применяемый метод извлечения SiO_2 из техногенных отходов тепловой энергетики имеет более высокую скорость экстракции по сравнению с применением только щелочи.

Samantaray S. с соавторами [27] изучали эффективность применения различных концентраций метасиликата натрия (20 %, 30 %, 40 %) в процессах щелочного выщелачивания диоксида кремния из золы уноса с постоянной температурой смеси. Оптимальная концентрация применяемого в опытах химического реагента составила 20 %, при данной концентрации наблюдалась наибольшая эффективность экстракции SiO_2 (61 %).

В работе [30] авторами исследования предложен кислотно-щелочной метод извлечения диоксида кремния из летучей золы одной из индонезийских ГРЭС. Летучая зола смешивалась с раствором соляной кислоты (1 М) с изотермическим нагревом смеси 90 °С в течение четырех часов с формированием раствора с твердым осадком. Далее осуществлялось фильтрование с отделением осадка, его промывка водой до нейтральной реакции на кислоту и высушивание в сушильном шкафу при 110 °С в течение 12 часов.

После этого осадок растворялся едким натром (3 М) с изотермической выдержкой смеси 90 °С в течение 2 ч с образованием силиката натрия. Далее добавлялся раствор соляной кислоты в соотношении 1:1, полученный в результате осадок кремнезема фильтровался и высушивался.

Авторами работы [35] установлено, что при гидрометаллургических процессах переработки ЗШО повышение концентрации едкого натра в процессах его выщелачивания от 100 до 160 г/л в течение 2,5 ч позволяет увеличить экстракцию диоксида кремния в маточный раствор с 53 до 68 %.

Весьма перспективен способ золь-гелеобразования при извлечении диоксида кремния из ЗШО. Данный метод широко применяется в промышленном производстве диоксида кремния из техногенных отходов тепловой энергетики китайской компанией Pingshuo Company of China Coal Group выпускающей до 200000 т продукта в год [24].

Перейдем теперь к отечественным разработкам по извлечению SiO_2 из ЗШО.

В патенте RU 2302375 [12] предложен химический способ переработки золошлаковых материалов с получением глинозема и кремнезема. Он включает в себя физическую активацию отходов, реализацию процесса выщелачивания с последующей дифференциацией получаемых целевых продуктов. Согласно описанию активации подвергаются частицы отходов размером от 0,05 до 0,2 мм путем механического ударного измельчения (скорость до 300 м/с) с целью их диспергации от 2 до 10 раз. Выщелачивание едким натром осуществляется в диапазоне температур от 80 до 110 °С. Осадок, содержащий диоксид кремния подвергается карбонизации с получением высокодисперсного SiO_2 .

А. Shoppert с соавторами [18] исследовали процессы получения диоксида кремния из летучей золы Рефтинской ГРЭС. Десиликация проводилась посредством применения раствора едкого натра при изотермической выдержке смеси 95 °С в течение 3 часов. Согласно схеме исследований белый кремнезем был получен после выщелачивания с помощью карбонизации и применения диоксида углерода. Выход целевого продукта составил 46,2 %.

Авторы работы [21] предлагают химическую активацию золошлаковых отходов посредством их обработки раствором NaHCO_3 (120 г/л). Это позволяет увеличить степень извлечения кремнезема с 20 до 68 %.

Алексейко Л.Н., Таскин А.В. с соавторами [26] разработали метод, основанный на спекании ЗШО Приморской ГРЭС с NaOH и карбонатом при температуре 1000 °С с последующей температурной выдержкой 210–230 °С под давлением 11000 Па в автоклаве. Полученный раствор силиката натрия обрабатывался HCl (рН 1–1,5) с осаждением кремниевой кислоты в виде геля. Далее гель фильтровался, промывался 5 % раствором HCl , подвергался сушке и нагреву до температуры 500 °С. Выход кремнезема составил более 90 %.

Если проанализировать представленный выше материал можно увидеть, что для эффективного извлечения кремнезема из золошлаковых отходов тепловой энергетики:

- 1) необходима предварительная физическая или химическая активация отходов;
- 2) использование концентрированных экологически опасных химических реагентов (NaOH , H_2SO_4 , HCl).

С целью повышения экологизации получения диоксида кремния из ЗШО и энергозатрат на активацию отходов измельчением зарубежные ученые исследовали эффективность применения ультразвукового поля и

электромагнитного микроволнового излучения.

Xu Y.-W., Jiang J., Feng Y. [20] изучили влияние ультразвука на процессы интенсификации при гидротермально-щелочном способе получения кремнезема из ЗШО. Согласно их выводам, при температурах нагрева реакционной среды выше 100°C воздействие ультразвука мощностью 600 Вт в течении 10 мин позволило сократить время обработки ЗШО в 3 раза (с 60 мин до 20 мин) с 45 %-ным выходом целевого продукта.

Xian Y.M. с коллегами [31] проанализировали в своих экспериментах роль электромагнитного микроволнового излучения в процессах получения кремнезема из отходов теплоэнергетики. Их исследование показало, что излучение (мощность 600 Вт, время воздействия – 15 мин):

1) эффективно разрушает связь кремний- и алюмосиликатной составляющей ЗШО ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$);

2) увеличивает адсорбционные характеристики ЗШО.

В совокупности это приводит к более эффективной активации структуры золошлаковых отходов тепловой энергетики, уменьшению концентрации применяемых химических реагентов, а также увеличению скорости протекания химических реакций при извлечении кремнезема.

Выводы

1. Как показал критический анализ существующей литературы, большая часть исследований по тематике научной работы приходится на зарубежные научные коллективы, в частности, на КНР.

2. Стандартные способы извлечения диоксида кремния из золошлаковых отходов тепловой энергетики являются экологически опасными, так как подразумевают применение различных концентрированных щелочей и кислот. Также для получения удовлетворительных результатов по выходу целевого продукта требуется предварительная механическая или химическая активация отходов.

3. Экологизация и интенсификация получения диоксида углерода из золошлаковых отходов тепловой энергетики возможна путем расширения исследований по применению эффектов различных видов силовых полей.

Список литературы

1. Самусева М.Н., Шишелова Т.И. Золошлаковые материалы – альтернатива природным материалам // Фундаментальные исследования, 2009. №2. С. 75–76.
2. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России до 2030 года. URL: https://rosugol.ru/upload/pdf/dpup_2030.pdf (дата обращения: 01.03.2026).
3. Пашкевич М.А., Куликова Ю.А. Исследование негативных последствий складирования золошлаковых отходов // Вестник евразийской науки, 2022. Т. 14. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/18NZVN322.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).
4. Национальная Ассоциация развития вторичного использования сырья. URL: <https://arvis.online/?ysclid=mmbr5ck8xs913262881> (дата обращения: 01.03.2026).
5. Таскин А.В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности / дисс. к.т.н.: 03.02.08 / Владивосток, 2018. 208 с.
6. Кутищева Е.С., Усольцева И.О., Передерин Ю.В. Способы получения высокодисперсного диоксида кремния // Ползуновский вестник, 2021. №2. С. 188–193.

7. Silicon Dioxide. Market Overview. URL: <https://www.researchnester.com/ru/reports/silicon-dioxide-market/6832> (дата обращения: 01.03.2026).
8. Потапов В.В., Горев Д.С. Определение объема рынка аморфного SiO₂ в 2016-2019 гг.: Российская Федерация, страны СНГ, мировой рынок // *Индустриальная экономика*, 2022. Т.1 №1. С. 21–33.
9. Silicon Dioxide Market Summary. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/silicon-dioxide-market-7889> (дата обращения: 01.03.2026).
10. Yan W., Yu-Chun Z., Lai-Shi L. et al. Preparation of highpurity Al₂O₃ and superfine SiO₂ from fly ash by the new acid and alkali combination method // *Light Met*, 2007. No. 9. pp. 24–27.
11. Patent WO 2008119212A A method of extracting silica at first and then extracting alumina from fly ash, Shinese, 2007.
12. Патент 2302375 Российская Федерация, МПК C01F 7/06, C22B 7/04, C01B 33/141. Способ химической переработки золошлаковых материалов с получением глинозема и кремнезема: № 2005115901/15: заявл. 26.05.2005: опубл. 10.07.2007 / Жабо В.В., Ильюшин В.В., Грайвер М.А. и др.; заявитель ЗАО «ЭКОНЕФ». 5 с.
13. Erol M., Küçükbayrak S., Ersoy-Meriçboyu A. Characterization of sintered coal fly ashes // *Fuel*, 2008. No. 87. pp. 1334–1340.
14. Xu Z., Zhang M., Zhu J., Min F. Extraction of nano- α -Al₂O₃ and SiO₂ from fly ash by low temperature calcination // *Non-Metallic Mines*, 2009. No. 1. pp. 27–30.
15. Durand V., Drobek M., Hertz A. et al. Evaluation of a new on-stream supercritical fluid deposition process for sol-gel preparation of silica-based membranes on tubular supports // *J. Supercrit. Fluids*, 2013. No. 77. pp. 17–24.
16. Liu J.-N., Shen X.-Y., Wu Y. et al. Preparation of ultrafine silica from potash feldspar using sodium carbonate roasting technology // *Int. J. Miner. Metall. Mater*, 2016b. No. 23. pp. 966–975.
17. Gao M., Ma Q., Lin Q. et al. A novel approach to extract SiO₂ from fly ash and its considerable adsorption properties // *Mater. Des*, 2017. No. 116. pp. 666–675.
18. Shoppert A., Loginova I.V., Chaikin L.I. et al. Alkali Fusion-Leaching Method for Comprehensive Processing of Fly Ash // *International Conference with Elements of School for Young Scientists on Recycling and Utilization of Technogenic Formations*, KnE Materials Science, 2017. pp. 89–96.
19. Yan F., Jiang J., Li K. et al. Green synthesis of nanosilica from coal fly ash and its stabilizing effect on CaO sorbents for CO₂ capture // *Environ. Sci. Technol*, 2017. No. 51. pp. 7606–7615.
20. Xu Y.-W., Jiang J., Feng Y. Enhancement effects of ultrasound on the extraction efficiency of silicon from coal fly ash // *China Environmental Science*, 2017. No.37. pp. 2656–2661.
21. Кенжалиев Б.К., Гладышев С.В., Абдулвалиев Р.А. и др. Активация золошлаковых отходов перед химическим обогащением // *Известия национальной академии наук Узбекистана*, 2017. 422. 2. С. 143–148.
22. Aphane M.E., Doucet F.J., Kruger R.A. et al. Preparation of sodium silicate solutions and silica nanoparticles from south African coal fly ash // *Waste Biomass Valorization*, 2020. No. 11. pp. 4403–4417.
23. Yadav V.K., Fulekar M.H. Advances in methods for recovery of ferrous, alumina, and silica nanoparticles from fly ash waste // *Ceramics*, 2020. No. 3. pp. 384–420.
24. Han C., Hu Y., Wang K. et al. Synthesis of mesoporous silica microspheres by a spray-assisted carbonation microreaction method // *Particuology*, 2020. No. 50. pp. 173–180.
25. Mohanty R. Mishra S.K., Mohapatra S.S. et al. Extraction of Silica (SiO₂) from Coal Fly Ash by Leaching and Sintering Technology. Singapore: Springer, 2021.
26. Shapkin N.P., Taskin A.V., Papynov E.K. et al. Extraction of silicon oxide from ash and slag waste of Primorskaya thermal power plant by means of different methods // *Butlerov Communications A.*, 2021. Vol.1. No.2. Id. 18.
27. Samantaray S., Mishra S.K., Mohapatra S.S. et al. Extraction of SiO₂ from coal fly ash by using sodium meta silicate leaching and sintering technology // *Advances in Thermofluids and*

Renewable Energy. Singapore: Springer, 2021.

28. Imoisili P.E., Jen T.-C. Microwave-assisted sol–gel template-free synthesis and characterization of silica nanoparticles obtained from South African coal fly ash // Nanotechnol, 2022. Rev. 11 (1). pp. 3042–3052.

29. Xiang J., Li J., Wang G. et al. Extraction of silica from fly ash and modification by silane coupling agent // Bullet. Chinese Ceram. Soci, 2023. No. 3. pp. 989–1000.

30. Nurmalita N., Syahrin N.A., Adi S. et al. Characteristics of Silica Powder Extracted from Fly Ash of Coal Fired Power Plant – Effect of Heat Treatment Process // Journal of Ecological Engineering, 2023. No. 24. pp. 282–292.

31. Xian Y.M., Yi M.N., Jia L.G. et al. Semi-quantitative analysis study of the impact of microwave treatment on fly ash // Physicochem. Probl. Miner. Process, 2023. No. 59(6). 174897.

32. Min Wang, Dong Chen, Hui Wang et al. A review on fly ash high-value synthesis utilization and its prospect // Green Energy and Resources, 2024. No.2, 100062.

33. Min W., Dong C., Hui W. et al A review on fly ash high-value synthesis utilization and its prospect // Green Energy and Resources, 2024. No.2, 100062.

34. Ntombiphumile P.T., Mathibela E.A Coal fly ash industrial waste-derived products: a review on the extraction of aluminum and silicon for nanoparticle synthesis // Environmental Science and Pollution Research, 2026. No. 33. pp. 736–765.

35. Altynsary B., Ablay Z., Petr B. et al. Laboratory Studies of the Desilinzation Process of Pre-Activated Ash and Slag Waste. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4978641> (дата обращения 10.03.2026).

УДК 691-4

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ибатуллина А. А., Климова А. С., Хохлова Л. И.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

Фосфогипс представляет собой один из самых масштабных видов промышленных отходов. Ежегодно в мире синтезируются миллионы тонн фосфорной кислоты, при этом на каждую тонну приходится 5 тонн фосфогипса. Огромная его масса складывается в отвалах, принося экологии большие проблемы. По химическому составу фосфогипс практически не отличается от привычного гипса, именно поэтому он привлекает внимание ученых. Они видят в нём потенциально хороший материал для строительства различных зданий и сооружений. Эта отрасль нуждается в новом недорогом и доступном сырье, которым может стать фосфогипс, так как проблема его утилизации также требует решения. Таким образом, разработка технологий, позволяющих преобразовывать фосфогипс в полноценный строительный материал для возведения стен и других строительных элементов, приобретает все большее значение.

За последнее время рост производства фосфорных минеральных удобрений повлек за собой резкий прирост выбросов ФГ во многих странах [1]. В среднем из каждой тонны произведенной фосфорной кислоты образуется 4,5–5 т ФГ [2, 3]. В РФ ежегодно образуется 15 млн т ФГ, и масса отходов в накопителях промышленных предприятий превышает 400 млн т [4]. Накопленный ФГ преимущественно хранится на открытых полигонах, занимая

немало земли. По химическому составу он аналогичен природному гипсу и на долю $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ приходится более 90 %, но вредные примеси в ФГ, такие как растворимый фосфор, растворимый фтор, эвтектический фосфор, а также следовые количества тяжелых металлов и радионуклиды, вызывают экологические проблемы – загрязнение воздуха, воды и почвы [5]. При этом ежегодный комплексный коэффициент использования ФГ составляет всего около 10 %, а применяемые технологии и процессы не развиты полноценно [7].

Сегодня фосфогипсу (ФГ) находят применение преимущественно в трёх ключевых областях: агропромышленном комплексе, химической отрасли и при производстве стройматериалов. Наибольшее распространение он получил именно в строительной сфере ввиду широкого использования гипсовых материалов. Большинство современных разработок в этой области направлено на замещение традиционного строительного гипса фосфогипсом. В частности, изучается возможность его добавки для регулирования сроков схватывания цемента, создания гипсокартонных листов, производства отделочных шпаклевок и лакокрасочных материалов, а также в дорожном строительстве – для получения битумоминеральных композиций [10].

Помимо указанных выше направлений, в последнее время идут разработки по изготовлению стеновых материалов (кирпичей, блоков, плитки) с добавкой или на основе ФГ. Легкие плиты изготавливали из смеси ФГ, цемента, летучей золы и стекловолокна [11]. Было установлено, что оптимальное количество ФГ в сырьевой смеси составляет 5 %. Однако если этот процент увеличивать, то прочность при сжатии снижается. Среди исследований также были представлены данные по применению ФГ для производства обожженных пустотелых керамических кирпичей. Фосфогипс вводили в различных массовых долях (от 5 до 40 %) в качестве замены песка в состав кирпича. При содержании ФГ до 30 % мас. физико-механические свойства кирпичей удовлетворяли нормативным требованиям, дальнейшее увеличение количества ФГ приводит к снижению прочности кирпичей.

Анализ литературы [1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11] свидетельствует о малом количестве промышленно освоенных технологий крупнотоннажного производства вяжущих или строительных изделий, где ФГ был бы в роли основной составляющей. Существующие научные исследования по большей части рассматривают ФГ лишь как добавку в цементных растворах. Исключением являются работы, в которых основой композиционных вяжущих является ФГ, однако достигнутые показатели прочности, водопоглощения и, в особенности, водостойкости нуждаются в улучшении [13]. Классические пути улучшения этих характеристик (особенно гидрофизических) включают гидрофобизацию готовых изделий, введение уплотняющих модификаторов в сырьевую смесь, а также снижение водопоглощения и, как следствие, растворимости двуводного гипса. Последнее достигается путем создания защитных нерастворимых оболочек на поверхности кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Перспективным направлением является использование газообразного CO_2 в качестве сырьевого компонента, обуславливающего процессы карбонатного твердения определенных неорганических веществ (например, гидратной

известии) в композиционном вяжущем на основе ФГ, что должно обеспечить получение прочного и водостойкого камня.

Одними из первых, кто начал решать проблему переработки фосфогипса в строительный материал стали сотрудники института металлополимерных систем АН БССР. Они создали материал на основе фосфогипса с добавлением фенолформальдегидной смолы и стекловолокна. Их исследования продолжили сотрудники Белорусского политехнического института.

На данный момент очень важным проектом является исследование сотрудников Крымского Федерального университета им.В.И. Вернадского. Учёные разрабатывают технологию фосфогипсовых блоков для наружных и внутренних стен зданий. Они формируются вибропрессованием, а затем отправляются в камеру карбонизации. Взаимодействие гидроксида кальция (добавляемого в ФГ) с углекислым газом (CO_2) образует карбонат кальция (CaCO_3), что увеличивает плотность образцов до 11 % и снижает их водопоглощение. В 2026 году планируется возвести из блоков небольшое сооружение для исследования материала в работе.

Говоря о методе карбонизации, невозможно не упомянуть исследование о разработке вяжущего вещества на основе фосфогипса, твердеющего по смешанному типу. В работе [14] представлены исследования по технологии карбонизации. В основе разработанного авторами вяжущего материала лежит новый подход к твердению, сочетающий два механизма: гидратацию (процесс твердения при смешивании с водой) фосфогипса и карбонизацию извести. Если гидратация обеспечивает структурообразование за счет перехода полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) в двуводный ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), то карбонизация играет ключевую роль в улучшении свойств материала, превращая его из обычного гипсового камня в прочный и водостойкий искусственный камень.

Процесс начинается до того, как углекислый газ вступает в реакцию. Сырьевая смесь готовится из предварительно термически обработанного при температуре 120–140 °С фосфогипса, который затем переходит в полуводное состояние, и гидратной извести. После смешивания с водой и формования методом полусухого прессования образцы помещают в эксикатор, где поддерживается определённая влажность воздуха, на 90 минут. Это время отводится для протекания гидратации ФГ, чтобы сформировалась первичная кристаллическая структура будущего камня. И лишь только после этого начинается следующий, важнейший этап — принудительная карбонизация.

Образцы переносят в герметичную камеру, где в течение трех часов поддерживается среда с 50 % концентрацией углекислого газа. В этих условиях запускается химическая реакция между гидроксидом кальция, содержащимся в извести, и углекислым газом ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$). Продуктом этой реакции становится карбонат кальция. Этот процесс принципиально меняет структуру материала. Образующийся карбонат не просто заполняет поры, повышая плотность, но и создает нерастворимые соединения, которые обволакивают кристаллы гипса, защищая их от разрушающего действия воды. Карбонизация, как показали исследования, носит ступенчатый подход: она начинается с поверхности и постепенно продвигается вглубь образца, причем

скорость и глубина этого проникновения напрямую зависят от состава исходной смеси. Слишком большое количество извести или воды уплотняет структуру настолько, что газ не может проникнуть вглубь, и карбонизация останавливается на поверхности.

Эффективность предложенного метода была убедительно доказана как прямыми физико-механическими испытаниями, так и термическим анализом. Сравнение образцов, прошедших и не прошедших карбонизацию, показало впечатляющие результаты: прочность карбонизированных образцов возрастала на 4–10 МПа, плотность увеличивалась, а водопоглощение, напротив, существенно снижалось. Термограммы исследуемых образцов зафиксировали характерный пик разложения карбоната кальция при высоких температурах, что стало неоспоримым доказательством того, что реакция карбонизации действительно произошла, а гидратная известь превратилась в прочный и нерастворимый камень. В итоге материал, содержащий оптимальное количество извести (от 10 до 30 %), приобретал коэффициент размягчения 0,78–0,8, что указывает на высокую водостойкость материала – качество, совершенно недостижимое для чистого гипсового камня.

Благодаря многочисленным проведенным исследованиям фосфогипса можно выделить определённые преимущества данного материала. Во-первых, в связи с тенденцией роста спроса на удобрения, наблюдается увеличение количества побочных продуктов их производства, а именно фосфоритов. К примеру, в России запасы составляют приблизительно 400 млн т. Переработка фосфогипса в строительные блоки поможет решить проблему излишка побочных продуктов. Во-вторых, предполагается, что инновационные методы создания строительных блоков позволят значительно снизить стоимость строительства жилья, из-за низкой стоимости сырья. Также ожидается, что возводить малоэтажные здания можно будет в разы быстрее, в связи с особенностями скрепления блоков. В-третьих, в случае с карбонизированным материалом можно говорить о росте прочности, а также высокой водостойкости.

Однако при работе с материалом могут возникать различные барьеры и вызовы. Главная проблема – непостоянство состава фосфогипса. Химический состав и физические свойства существенно различаются в зависимости от месторождения исходных фосфатных руд, технологии производства фосфорной кислоты и условий хранения отходов. Соответственно технологии для одного вида фосфогипса могут не подойти для другого. Также для материала нужна обязательная очистка, так как в нём может содержаться большое количество вредных примесей. Ещё одной проблемой является серьёзное регулирование радиационного фактора.

Несмотря на различные проблемы, исследования не стоят на месте. Например, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ) разрабатывает биостойкие стройматериалы из фосфогипса с органоминеральными добавками, а Уханьский университет технологий исследует процессы кальцинации фосфогипса для получения строительных материалов. Также этим материалом заинтересованы различные компании. Основной интерес проявляют китайские корпорации в связи с

серьёзной проблемой утилизации отходов в стране. Также крупный проект планируют создать в Индии. В России Крымский федеральный университет с партнером ООО «КРОСС» готовит опытную партию на 2026 год.

Заключение

Можно сказать, что фосфогипс перестал быть просто проблемным отходом и превратился в объект серьезного научного интереса и промышленных перспектив. Масштабы его накопления во всём мире действительно поражают. Фосфогипс занимает огромное количество такого ценного ресурса как земля, а также представляет опасность окружающей среде.

Нельзя не упомянуть, что существуют научные работы, подтверждающие полезные свойства нейтрализованного фосфогипса в агропромышленной сфере. Например, его применяют для восстановления грунтов. Кроме того, приводятся данные не просто об эффективности таких добавок, но и о том, с какой периодичностью их стоит вносить в почву.

Между тем объёмы фосфогипса, накопленные в отвалах, продолжают расти, и это не может не сказываться на состоянии окружающей среды. С другой стороны, если материал прошел соответствующую обработку и используется локально, он не наносит вреда природе и даже способен давать положительный эффект, например, в сфере строительства.

В качестве строительного материала на фосфогипс возлагают довольно большие надежды. Создание безотходных строительных материалов и изделий с дальнейшей повторной переработкой вторичных сырьевых ресурсов является одним из приоритетных направлений развития экологии, экономики и ряда других важных секторов. Это связано с тем, что строительная отрасль потребляет огромное количество природных ресурсов, и любой шаг в сторону их замещения техногенными отходами дает ощутимый эффект сразу по нескольким направлениям. Во-первых, снижается нагрузка на карьеры и месторождения природного сырья, которые истощаются гораздо быстрее, чем хотелось бы. Во-вторых, решается проблема утилизации отходов, которые иначе продолжали бы копиться годами и отравлять окружающую среду. В-третьих, появляется возможность производить строительные материалы с меньшей себестоимостью, что в перспективе может сделать жилье более доступным. К тому же развитие таких направлений создает новые рабочие места и стимулирует научные исследования, что тоже является немаловажным.

Список литературы

1. Calderón-Morales B.R.S., García-Martínez A., Pineda P. et al. Valorization of phosphogypsum in cement-based materials: limits and potential in eco-efficient construction. Journal of Building Engineering, 2021. Vol. 44. p. 102506.
2. Rashad A.M. Phosphogypsum as a construction material. Journal of Cleaner Production, 2017. Vol. 166. pp. 732–743.
3. Wei Z.Q., Zhang Q., Li X.B. Crystallization kinetics of α -hemihydrate gypsum prepared by hydrothermal method in atmospheric salt solution medium. Crystals, 2021. Vol. 11. Issue 8. p. 843.
4. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Комплексная промышленная переработка хибинского апатитового концентрата // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: мат-лы IX Междунар. научно-практ. конф., 2018. С. 124–127.

5. Yang L., Zhang Y., Yan Y. Utilization of original phosphogypsum as raw material for the preparation of self-leveling mortar // *Journal of Cleaner Production*, 2016. Vol. 127. pp. 204–213.
6. Недбаев И.С., Цыркунова Н.В., Елсукова Е.Ю. Обзор Российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса // *Вестник евразийской науки*, 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rossiyskogo-i-mirovogo-opyta-resheniya-ekologicheskikh-problem-proizvodstva-hraneniya-pererabotki-i-ispolzovaniya-fosfogipsa> (дата обращения: 25.02.2026).
7. Macías F., Cánovas C.R., Cruz-Hernández P. et al. An anomalous metal-rich phosphogypsum: Characterization and classification according to international regulations // *Journal of Hazardous Materials*, 2017. Vol. 331. pp. 99–108.
8. Шаяхметов У.Ш., Мустафин А.Г., Бабков В.В. и др. Стеновые изделия на основе фосфогипса // *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*, 2008. № 2. С. 29–30.
9. Головнева В.В., Кулемина А.Е., Почиталкина И.А. и др. Современные направления переработки фосфогипса // *Успехи в химии и химической технологии*. 2020. № 4 (227). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-napravleniya-pererabotki-fosfogipsa> (дата обращения: 25.02.2026).
10. Ильин А.П., Кочетков С.П., Брыль С.В. и др. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов // *Экология и строительство*, 2016. № 4. С. 21–29.
11. Muthukumar P., Shewale M., Asalkar S. et al. Experimental study on light weight panel using phosphogypsum // *Materials Today: Proceedings*, 2022. Vol. 49. pp. 1852–1856.
12. Ajam L., Ouezdou M.B., Felfoul H.S. et al. Characterization of the Tunisian phosphogypsum and its valorization in clay bricks // *Construction and Building Materials*, 2009. Vol. 23. Issue 10. pp. 3240–3247.
13. Абраменко А.А. Разработка безобжиговой технологии переработки фосфогипса с учетом раннего прогнозирования свойств композита // *Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: мат-лы IX Междунар. научно-практ. конф.*, 2018. С. 7–17.
14. Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С. и др. Разработка вяжущего вещества на основе фосфогипса, твердеющего по смешанному типу // *Вестник МГСУ*, 2024. Т. 19, вып. 8. С. 1304–1312.
15. Yuri Vasconcelos Gesso resistente // *Revista Pesquisa FAPESP*, 2012. № 202. С. 66–67.

УДК 574.635

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВЕЩЕСТВ СООБЩЕСТВА АЭРОБНОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ИЛА

Измайлова И. З.¹, Смирнова Т. С.¹, Сакаян Д. И.²

¹ ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им.И.М.Губкина», г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им.Д.И.Менделеева», г. Москва, Россия

Введение

Цель работы заключается в оценки роли внеклеточных полимерных веществ (ВПВ) в формировании и обеспечении стабильности сообщества аэробного гранулированного ила. В работе проанализирован состав ВПВ в гранулированном и свободном активном иле; изучено влияние технологических параметров (гидродинамические условия, чередование условий по наличию субстрата) на

качественный и количественный состав ВПВ в гранулах активного ила.

Основная часть

Создание условий для формирования аэробного гранулированного ила (АГИ) является перспективной технологией очистки сточных вод, позволяющей совмещать процессы удаления органических веществ, соединений азота и фосфора в одном биореакторе. В отличие от традиционного хлопьевидного активного ила, АГИ представляет собой плотные, сферические агломераты микроорганизмов, обладающие высокой скоростью осаждения и устойчивостью к токсическим нагрузкам.

Важным компонентом, обеспечивающим структурную целостность и функциональность гранул, являются внеклеточные полимерные вещества (ВПВ). Эти вещества образуют вокруг клеток биопленочный матрикс, который скрепляет их в единую структуру и придает грануле форму. Несмотря на важность ВПВ, многие факторы их роли в формировании и стабильности гранул остаются недостаточно изученными. В частности, актуальным остается вопрос о взаимосвязи состава и соотношения ВПВ в грануле с условиями культивирования микроорганизмов.

ВПВ представляют собой сложную смесь биополимеров, основными компонентами которой являются полисахариды, белки, гуминоподобные вещества, липиды и нуклеиновые кислоты. Соотношение этих компонентов, в особенности белков (PN) и полисахаридов (PS), является важным показателем, влияющим на свойства гранул. Высокое соотношение PN/PS часто коррелирует с увеличением гидрофобности поверхности клеток, что способствует их агрегации и формированию плотной структуры гранул активного ила [1].

Прежде всего ВПВ выполняют структурно-механическую роль, формируя полимерный матрикс, который придает гранулам прочность и форму; двухвалентные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+}) выступают в роли ионных мостиков, связывающих отрицательно заряженные группы полимеров и уплотняющих структуру. Важна также адгезивная роль ВПВ, благодаря которой обеспечивается первоначальное прикрепление клеток друг к другу, что является критическим этапом запуска процесса гранулообразования.

Процесс превращения ила в плотные гранулы связан с изменением количества и состава ВПВ. На начальных этапах грануляции микроорганизмы, испытывающие повышенные значения гидродинамического сдвига, в циклическом режиме питания, начинают активно продуцировать ВПВ как защитный механизм [2]. Этот матрикс из ВПВ цементирует клетки, формируя первичные агрегаты, которые затем уплотняются.

Важным фактором образования устойчивых гранул активного ила является селекция медленно растущих организмов, которые вырабатывают большее количество ВПВ, чем быстрорастущие микроорганизмы. Это способствует формированию более прочных и стабильных гранул.

Стабильность гранул во времени напрямую зависит от сохранения целостности ВПВ-матрикса. Чрезмерный рост нитчатых микроорганизмов, недостаток субстрата в ядре гранулы или гидролитическое разрушение ВПВ

могут привести к разрыхлению структуры гранул активного ила, снижению прочности и, в конечном итоге, к их распаду.

Выделение ВПВ из биомассы гранул проводили согласно методике, описанной Adav и Lee [3]. Учитывая компактную структуру гранул, для повышения эффективности экстракции образцы предварительно гомогенизировали для разрушения целостности гранул. Далее к гомогенизированному образцу последовательно добавляли формалин и раствор NaOH. Полученную суспензию центрифугировали при 12 200 об в течение 20 мин, после чего надосадочную жидкость фильтровали через мембранный фильтр с пористостью 0,2 мкм. Полученный фильтрат, содержащий ВПВ, использовали для дальнейшего химического анализа.

Количественное определение полисахаридов в составе ВПВ проводили фенол-сернокислотным методом по Дюбуа [5]. Метод основан на реакции углеводов с фенолом в присутствии концентрированной серной кислоты с образованием соединений желто-оранжевого цвета. Интенсивность окраски измеряли на спектрофотометре при длине волны 490 нм.

Содержание белка в экстрагированных ВПВ определяли методом Лоури [4]. Метод основан на биуретовой реакции (взаимодействии пептидных связей с ионами Cu^{2+} в щелочной среде) и последующем восстановлении реактива Фолина-Чокальтеу тирозином и триптофаном. Оптическую плотность измеряли при длине волны 750 нм.

Выводы

В ходе работы было проведено сравнительное исследование содержания основных компонентов внеклеточных полимерных веществ (ВПВ) в традиционном активном иле и аэробном гранулированном иле. Сравнительный анализ состава ВПВ выявил существенные различия между активным и гранулированным илом. В активном иле содержание полисахаридов составило 27,68 мл/г, белков – 26,82 мл/г (соотношение PN/PS = 0,97). В гранулированном иле эти показатели оказались значительно выше: 63,35 мл/г и 100,2 мл/г соответственно, а соотношение PN/PS возросло до 1,58.

Полученные результаты подтверждают, что соотношение белков и полисахаридов является важным фактором, влияющим на формирование плотной структуры аэробных гранул и может рассматриваться как один из ключевых индикаторов стабильности гранулированного сообщества.

Список литературы

1. Сакаян Д.И., Хохлачев Н.С. Технологические параметры, влияющие на селекцию гранулированного аэробного ила // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, 2025. № S1. С. 150–156.
2. Wilén B.M. et al. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality // Applied microbiology and biotechnology, 2018. Т. 102. №. 12. С. 5005–5020.
3. Adav S.S., Lee D.J. Extraction of extracellular polymeric substances from aerobic granule with compact interior structure // Journal of hazardous materials, 2008. Т. 154. №. 1-3. С. 1120–1126.
4. Общая биотехнология. Лабораторный практикум: учеб. Пособие / И.В.Шакир, А.А.Красноштанова, Е.В.Парфенова и др. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2008. 120 с

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАЦИИ БИОКОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИЮ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Кожевникова Ю. В., Суконщикова А. А., Сальникова Я. К.

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им.И.М.Губкина», г. Москва, Россия

Современная нефтеперерабатывающая промышленность находится под влиянием двух разнонаправленных факторов: необходимости удовлетворения растущего спроса на моторные топлива и ужесточения экологических требований, связанных с декарбонизацией экономики. Одним из перспективных направлений, позволяющих найти баланс между экономической эффективностью и экологической ответственностью, является комбинированная переработка нефтяного сырья с возобновляемыми биокomпонентами (бионефтью, биобитумом). Актуальность работы обусловлена необходимостью расширения сырьевой базы НПЗ и снижения антропогенной нагрузки за счет утилизации органических отходов.

В качестве объекта исследования выбрано Ромашкинское месторождение (Республика Татарстан) – крупнейшее в Волго-Уральском регионе. Характеристика ромашкинской нефти (плотность 0,8620 г/см³, содержание серы 1,61 % мас.) относит её к классу сернистых, что требует глубокой гидроочистки. Анализ ресурсной базы Татарстана показал высокий потенциал использования биомассы: в регионе сосредоточено около 30 тысяч гектаров торфяных массивов, значительные объемы древесных опилок (отходы лесопиления) и сельскохозяйственных отходов (солома, жмых, свекловичный жом). Согласно оценкам, энергетический потенциал переработки этих отходов может составлять до 1,62 млн т.у.т., что позволяет заместить до 20 % традиционных энергоресурсов на локальных предприятиях.

В работе проведен сравнительный анализ двух вариантов поточной схемы НПЗ мощностью 15 млн тонн/год.

Вариант 1 представляет собой классическую схему глубокой переработки нефти. Она включает установки ЭЛОУ-АВТ, гидроочистку всех фракций, каталитический риформинг и крекинг, замедленное коксование, висбрекинг и алкилирование. Глубина переработки по данной схеме составляет 97,10 % мас., индекс Нельсона – 9,37.

Вариант 2 предполагает интеграцию в схему установок быстрого пиролиза биомассы. Сырьем для пиролиза служат торф и древесные опилки. Полученные продукты (бионефть, пиролизный газ, биоуголь) направляются на дальнейшее облагораживание. Жидкие продукты пиролиза (бионефть) используются в качестве модифицирующей добавки при производстве битумов (до 10 % от массы) и совместно перерабатываются с вакуумным газойлем в процессах гидрокрекинга для увеличения выхода светлых нефтепродуктов.

На основе материальных балансов установлено, что вовлечение 0,47 %

мас. торфа и 0,67 % мас. опилок (от массы перерабатываемой нефти) позволяет получить дополнительные объемы бионефти (0,76 % мас.) и пиролизного газа (0,33 % мас.). Пиролизный газ используется для энергообеспечения собственных нужд установки (замещение до 60–70 % энергопотребления процесса), а биоуголь может применяться в качестве сорбента или почвенного мелиоранта.

Технологический расчет битумной установки (производительностью 1 млн т/год) подтвердил возможность введения биокomпонентов без изменения конструктивных параметров оборудования. Окисление гудрона с добавлением пиролизной смолы способствует улучшению пластичности и адгезионных свойств битума марки БНД 60/90. Экономический эффект достигается за счет снижения потребления дорогостоящего нефтяного гудрона и утилизации отходов, что соответствует принципам циркулярной экономики. Экологическая эффективность выражается в сокращении выбросов парниковых газов за счет замещения ископаемого сырья возобновляемым.

Проведенный сравнительный анализ показал, что комбинированная переработка нефти с биокomпонентами является технически реализуемой и экономически целесообразной. Интеграция установок пиролиза биомассы в структуру НПЗ позволяет:

1. Расширить сырьевую базу предприятия за счет вовлечения местных возобновляемых ресурсов.
2. Увеличить выход высокооктановых компонентов бензинов и улучшить качество дорожных битумов.
3. Снизить экологическую нагрузку за счет уменьшения объема захораниваемых отходов и сокращения углеродного следа.

Полученные результаты могут служить основой для принятия инвестиционных решений при модернизации нефтеперерабатывающих мощностей в направлении устойчивого и «зеленого» развития промышленности.

Список литературы

1. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти: В 4-х частях. М.: Химия, 2007. 334 с.
2. Сборник «Нефти СССР», т. 1. М.: Химия, 1974. 438 с.
3. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Особенности технологии быстрого пиролиза биомассы // Инновационная наука, 2016. №5-2 (17).
4. Файзрахманова Г.М. и др. Разработка технологии получения органического вяжущего для дорожного строительства с использованием продуктов термической переработки биомассы дерева // Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2015. № 2 (19).

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ БУРОУГОЛЬНОГО ЗОЛОШЛАКА ДЛЯ БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Снегирев В. А., Сабирова Т. М.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Поиск и разработка новых подходов для исследования и повышения эффективности процесса биовыщелачивания ценных металлов из золошлаковых отходов (ЗШО) могут быть отнесены к актуальным и перспективным направлениям как в связи с их доступностью, так и в связи с сопоставимостью содержания в них металлов с природными источниками. Кроме этого, немаловажным является и экологический фактор, заключающийся в возможности снижения содержания в ЗШО водорастворимых металлов, включая токсичные.

Полученные положительные результаты применимости и достаточно высокой эффективности извлечения скандия и Σ РЗМ из золошлака бактериями *At. ferrooxidans* с доказанным частичным биовыщелачиванием содержащегося в нем железа [1], послужили основанием для отработки процесса и, прежде всего, для подбора оптимальной дозы золошлака в культуральной жидкости (КЖ) биовыщелачивания.

Цель настоящей работы – подбор и обоснование оптимальной дозы золошлака в культуральной жидкости для биовыщелачивания скандия и других редкоземельных металлов (РЗМ).

Объект исследования – способ биовыщелачивания РЗМ из золошлака с использованием бактерий *At. ferrooxidans*.

Предмет исследования – бурогоугольный золошлак от сжигания в котельной Иркутских углей Азейского месторождения.

Одним из важнейших факторов в биотехнологии, включающей использование аэробных бактерий, является создание благоприятных условий для перемешивания, а также насыщения культуральной жидкости кислородом воздуха и обеспечение его доступа к клеткам бактерий. В связи с этим подбору оптимальной концентрации золошлака, способствующей его эффективному перемешиванию и аэрированию было уделено особое внимание. Примененный для этого метод многократного пассажирования с дозой золошлака в пассаже 7 % позволил обеспечивать постепенность увеличения содержания золошлака в КЖ без остановки эксперимента и оценивать результаты выщелачивания металлов в каждом пассаже.

Исходя из существенного усложнения подготовки золошлака к биовыщелачиванию за счет проведения его предварительного обжига, эксперименты проводились с обожженным и необожженным бурогоугольными золошлаками от сжигания Азейских углей [2].

За окончание каждого пассажа биовыщелачивания скандия и других редкоземельных металлов принималось прекращение увеличения содержания

Fe^{3+} в культуральной жидкости и снижения ее pH. Как установлено, это обеспечивало высокую степень извлечения скандия из золошлака, в отличие от $\Sigma\text{РЗМ}$ (рисунок 1).

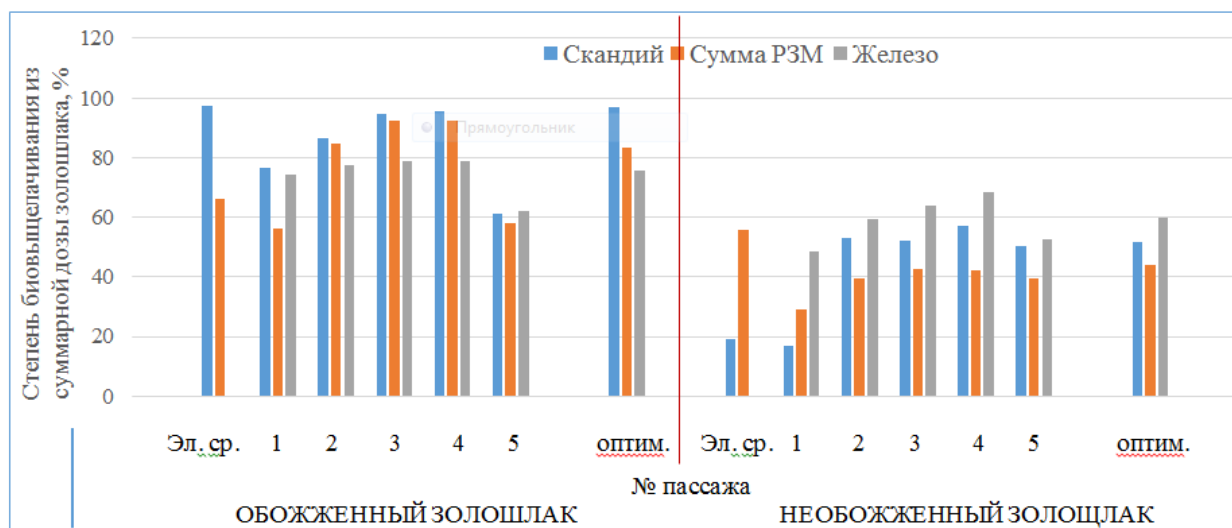


Рисунок 1 – Результаты подбора оптимальной дозы для обожженного и необожженного золошлаков в ходе многопассажного биовыщелачивания целевых металлов бактериями *At. ferrooxidans*

Наблюдающуюся неравномерность прироста скандия и железа от первого (7 %) пассажа к второму (14 %) с выравниваем их прироста в последующих пассажах 3 (21 %) и 4 (28 %), можно объяснить закономерностями жизнедеятельности бактериальных культур, а именно логарифмической фазой роста бактерий *At. ferrooxidans* в пассажах №№ 1–2 и стационарной фазой их развития в пассажах №№ 3–4. Исходя из большей степени биовыщелачивания целевых металлов в четвертом пассаже, а также в наблюдавшемся ее снижении в пятом пассаже, в качестве оптимальной исходной дозы обожженного и необожженного золошлаков для проведения биовыщелачивания была принята 28 %. Достигаемая при этом степень выщелачивания скандия и $\Sigma\text{РЗМ}$ из обожженного золошлака была намного выше, чем необожженного и составила, %: 95,47 и 92,26 соответственно.

Проведенные однопассажные опыты с оптимальной дозой обожженного и необожженного золошлаков 28 % (рисунок 1, пассажи оптим.) подтвердили оптимальность выбранной дозы золошлака.

Таким образом, экспериментально было доказано, что разрушение золошлака бактериями *At. ferrooxidans*, происходящее для обеспечения их собственной потребности в необходимых компонентах, и, прежде всего, в энергетическом субстрате Fe^{2+} и фосфоре, косвенно способствует высокой степени выщелачивания из него как скандия, так и $\Sigma\text{РЗМ}$. Однако, несмотря на это, их концентрация в культуральной жидкости остается очень низкой даже при условии 100 % их извлечения и составит, мг/л: для скандия – ~ 20; для $\Sigma\text{РЗМ}$ – ~ 183.

В связи с этим, учитывая трудоемкость и сложность известных способов физико-химического извлечения скандия и других РЗМ из многокомпонентных КЖ, следующим этапом экспериментальных исследований было изучение

возможности повышения концентрации скандия в КЖ за счет поиска новых подходов для проведения биовыщелачивания.

Как установлено, использование дозы золошлака в культуральной выше 28 % (рисунок 1, пассаж № 5) приводит к снижению степени биовыщелачивания целевых металлов в связи с ухудшением условий для жизнедеятельности бактерий *At. ferrooxidans*. Высокие дозы золошлака в КЖ повышают повреждения бактерий, снижают эффективность перемешивания и насыщения КЖ кислородом воздуха, а длительное пребывание золошлака в кислой среде КЖ приводит к повышению степени выщелачивания из него нецелевых компонентов, повышающих солесодержание (сухой остаток) КЖ. Тем не менее, повышение дозы золошлака в КЖ было единственным способом для увлечения концентрации целевых металлов в КЖ биовыщелачивания. Так, несмотря на высокую степень биовыщелачивания скандия и Σ РЗМ из золошлака, их содержание в КЖ остается очень низким, обусловленным их малым (75 и 638 г/т, соответственно) содержанием в золошлаке, что сопряжено с высокой затратностью для реализации разработанного способа получения их концентратов. В связи с этим с этим продолжение исследований было направлено на поиск решений по повышению концентрации целевых металлов в культуральной жидкости.

Возможным способом решения указанных проблем представлялось проведение биовыщелачивания в режиме многопассажного культивирования с удалением отработанной дозы золошлака из КЖ после завершения очередного пассажа перед заменой ее на новую. Предполагалось, что ограничение времени пребывания очередной дозы золошлака в КЖ не только снизит степень выщелачивания из нее нецелевых компонентов, но и позволит поддерживать оптимальные условия для перемешивания, аэрирования и фильтрования КЖ.

Учитывая специфику многопассажного культивирования бактерий, заключающуюся в добавке от пассажа к пассажи одинаковых по массе доз золошлака, в качестве исходной дозы золошлака была выбрана 14 %, равная половине установленной оптимальной дозы – 28 %. За фактор, лимитирующий завершение текущего пассажа, было принято, как и в предыдущих экспериментах, прекращение прироста в КЖ, выщелоченного из золошлака железа (Fe^{3+}).

После пассажа отфильтрованный отработанный осадок золошлака промывали на фильтре небольшим количеством дистиллированной воды и присоединяли промывную воду к фильтрату КЖ, который возвращали в биокультиватор, вносили в него следующую дозу золошлака и проводили очередной пассаж биовыщелачивания, повторяя все вышеописанные процедуры от пассажа к пассажи. Повторение пассажей останавливали после снижения или прекращения полноты выщелачивания железа из очередной порции золошлака.

Применение выбранной порционной добавки золошлака 14 % позволило обеспечить эффективное биовыщелачивание скандия и Σ РЗМ только в двух пассажах, то есть при суммарной дозе золошлака в КЖ 28 %, являющейся оптимальной для однопассажного процесса. Несмотря на это, из-за сохранения высокого уровня прироста сухого остатка и железа в КЖ, а также из-за снижения

длительности пассажа с 7 до 4 суток, начиная с четвертого пассажа, эксперимент был продолжен до пассажа № 5, включительно.

Анализ полученных результатов позволил предположить, что прекращение биовыщелачивания скандия, как и Σ РЗМ, обусловлено снижением физиологической активности бактерий *At. ferrooxidans* за счет остановки процесса и потери их клеток при фильтрации КЖ. В свою очередь, сохранение высокой степени выщелачивания Fe^{3+} в пассажах №№ 3–5, в отличие от скандия и Σ РЗМ, можно объяснить протеканием, так называемого бесконтактного биовыщелачивания, т.е. за счет действием накопленных в КЖ метаболитов жизнедеятельности бактерий *At. ferrooxidans*.

Список литературы

1. Сабирова Т.М., Снегирев В.А. Экспериментальная оценка способа биовыщелачивания скандия и суммы редкоземельных металлов из буроугольного золошлака // *Металлург*, 2025. № 10. С. 112–123.

2. Снегирев В.А., Сабирова Т.М., Юрк В.М. Влияние дожигания золошлаковых отходов на полноту биовыщелачивания редкоземельных металлов // *Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности*: Сб. III Всеросс. научно-практ. конф. с участием молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 7–8 апреля 2022 г.). Санкт-Петербург. 2022. С. 66–68.

УДК 628.381.1:631.879

ИСКУССТВЕННЫЙ ПОЧВОГРУНТ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ СЖИГАНИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Сучков Д. В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Введение

Для крупных городов, в том числе Санкт-Петербурга, проблема обращения с осадками сточных вод (ОСВ) сохраняет высокую актуальность. На ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» внедрено сжигание ОСВ в печах псевдоожиженного слоя, что позволило многократно снизить объём отходов. Однако ежегодно образуется около 50 тыс тонн золы, которая полностью вывозится на полигон «Северный» (заполнен более чем на 90 % проектной мощности). Размещение отхода вблизи жилых кварталов создаёт техногенную угрозу и противоречит задачам перехода к экономике замкнутого цикла.

Согласно [1], производство искусственных грунтов на основе термически обработанных ОСВ является универсальным методом утилизации. Зола может применяться при рекультивации нарушенных земель и благоустройстве дорожных откосов [2, 3]. Однако из-за повышенного содержания тяжёлых металлов (ТМ) надзорные органы часто не рекомендуют её использование без дополнительного обоснования.

Цель работы – обоснование возможности использования золы сжигания ОСВ в качестве полезного компонента искусственного почвогрунта. Объект исследования – зола сжигания ОСВ Юго-Западных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Предмет исследования – закономерности влияния золы на рост и развитие растений, безопасность и допустимые дозы внесения. Научная новизна заключается в установлении положительного эффекта внесения золы в дозе до 20 % (по массе) на всхожесть и биомассу *Trifolium pratense* при подтверждении IV класса опасности отхода. Практическая значимость – разработка состава органоминеральной почвосмеси для благоустройства и рекультивации.

Материалы и методы

Зола представляет собой тонкодисперсный порошок коричневого цвета. Отбор проб выполнен по методике [4]. Качественный состав определён рентгенофлуоресцентным анализатором Niton XLt 898. Количественное содержание Pb, Zn, Mn, Cu установлено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрометр ААС-7000, Shimadzu, Япония) по методике [5].

Класс опасности рассчитан с использованием ПО «Расчёт класса опасности отходов 2.0» согласно [6] и подтверждён биотестированием на тест-культуры хлореллы [7].

Допустимые дозы внесения золы в почву Ленинградской области определены по методике [8].

Модельные почвосмеси (контроль – 100 г почвы; опыт – добавка золы 5, 10, 15, 20 г на 100 г почвы, рисунок 1) испытывались на *Trifolium pratense*. Высеивали по 25 семян на образец, полив 3 раза в неделю по 50 мл. Кислотность солевой вытяжки контролировали по методике [9].

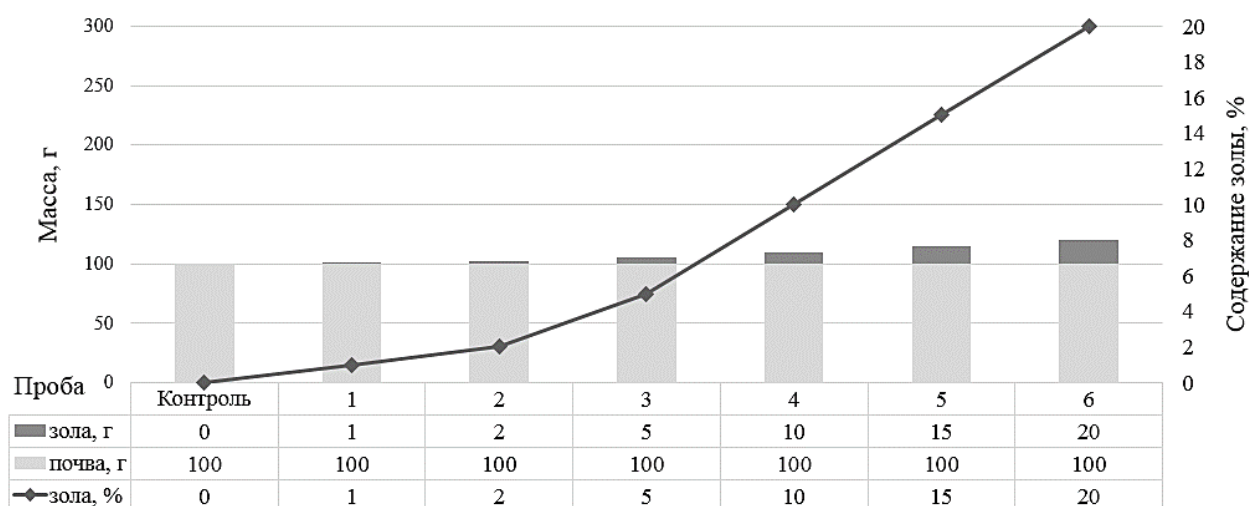


Рисунок 1 – Состав почвосмеси модельных образцов

Результаты и обсуждение

Содержание тяжёлых металлов. Установлены превышения: Zn – 1740 мг/кг (7,9 ОДК), Pb – 200 мг/кг (6,3 ПДК), Cu – 492 мг/кг (3,7 ОДК). Суммарный показатель загрязнения $Z_c = 15,9$, что соответствует низкой степени

загрязнения [10]. Класс опасности – IV (малоопасный), подтверждён биотестированием.

Расчёт допустимых доз. При внесении золы из расчёта 28,53 т/га в год (лимитирующий элемент – Zn) содержание ТМ в пахотном горизонте не превышает нормативов (таблица).

Результаты расчета средней ежегодной дозы внесения исследуемого компонента в почву

Me	Нормативно допустимое значение	Почва	Зола	Д _{доп}	Д _{ср}	Ф+Д
	мг/кг			г/га	т/га·год	мг/кг
Mn	1 500	30	965	3 510 000	363,73	52,29
Pb	32	3	200	678 00	33,90	7,62
Cu	132	3	492	307 800	62,56	14,37
Zn	220	10,5	1 740	496 500	28,53	50,69

Вегетационный опыт. Первые всходы – на 3 сутки. В контроле всхожесть 88 %. В образцах с добавкой 5 и 10 г золы всхожесть достигла 100 % (на 5–6 сутки). Образец с 20 г золы показал всхожесть ниже контрольной (рисунок 2). Установлено повышение рН солевой вытяжки на 1,5–2 ед. относительно контроля (5,03 ед. рН). Таким образом, оптимальная добавка золы – до 10 г на 100 г почвы (не более 20 % по массе).

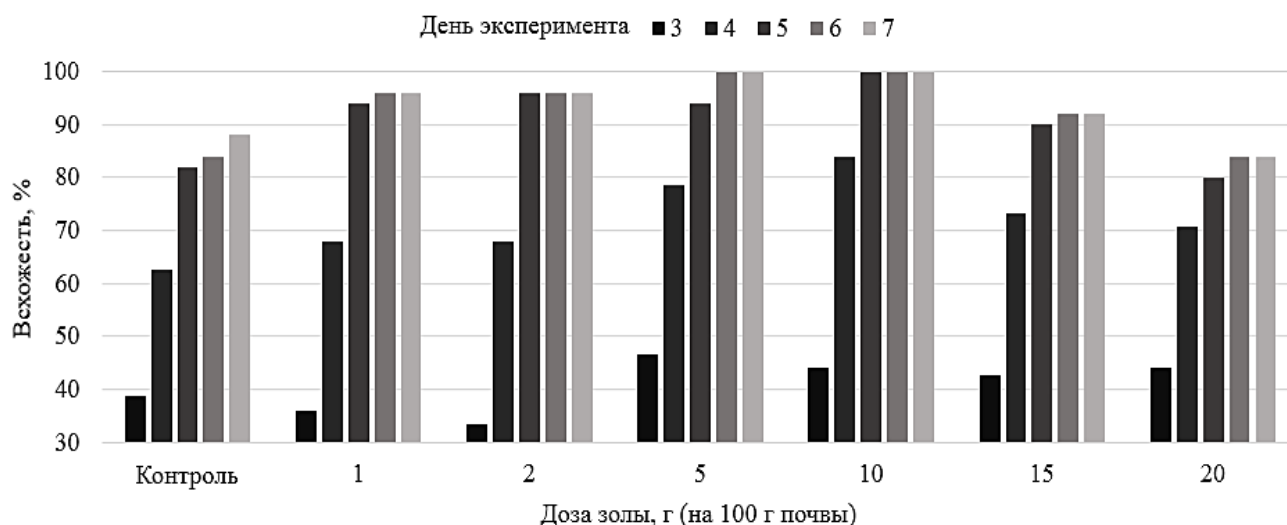


Рисунок 2 – Динамика всхожести образцов

Методологический подход. Предложен комплекс методов оценки пригодности отхода для почвогрунтов:

- Рентгенофлуоресцентный и атомно-абсорбционный анализ (тяжёлые металлы).
- Расчёт класса опасности + биотестирование.
- Определение рН солевой вытяжки.
- Расчёт допустимых доз внесения.
- Вегетационный эксперимент (всхожесть, биомасса).

Эколого-экономическая эффективность. Рассмотреть возможность применения золы можно на примере организации дорожно-строительных работ, требующих озеленительного благоустройства. С учетом протяженности дорог, требующих строительства, ремонта или реконструкции на территории Санкт-Петербурга [11] и Ленинградской области [12], а также с учетом расчетной потребности указанных дорог в откосах [13] и приобвочных полосах [14], использование искусственного почвогрунта на основе золы ОСВ рекомендуется на площади порядка 40 га, что позволит заменить 1141 т привозного грунта (из расчета внесения 28,53 т/га·год). Срок окупаемости – менее года. Предотвращенный экологический ущерб от прекращения складирования составляет 64 млн руб.

Заключение

Зола сжигания ОСВ ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» имеет IV класс опасности и может использоваться в составе искусственных почвогрунтов при дозе внесения не более 28,53 т/га в год (до 20 % по массе). В вегетационном опыте на *Trifolium pratense* подтверждено улучшение всхожести и роста растений. Предложенный комплекс методов позволяет обоснованно выбирать отходы для рекультивации и благоустройства. Дальнейшие исследования направлены на полевые испытания и разработку нормативной документации.

Список литературы

1. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 2019. 428 с.
2. Cieřlik B.M., Namieřnik J., Konieczka P. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods // Journal of Cleaner Production, 2015. V. 90. pp. 1–15.
3. Healy M.G., Clarke R., Peyton D. et al. Resource recovery from sewage sludge. London: IWA Publishing, 2015. 376 p.
4. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03. Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления. М.: ФБУ «ФЦАО», 2003. 67 с.
5. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб.: НПО «Крисмас+», 2008. 43 с.
6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 31 марта 2025 г. N 158 «Об утверждении критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду».
7. ПНД Ф Т 14.1:2.4.10-04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М.: ФБУ «ФЦАО», 2004. 21 с.
8. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.
9. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1985. 6 с.
10. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 1999. 15 с.

11. Адресная программа по целевой статье «Расходы на капитальный ремонт дорог» за счет бюджета Санкт-Петербурга на 2026 и на плановый период 2027 и 2028 годов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2026/02/27/48/АП_КРД_2026-2028__26.02.2026.pdf (дата обращения 30.03.2026).

12. Программа дорожной деятельности Ленинградской области на период с 2025 по 2030 годы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kdh.lenobl.ru/ru/deiatelnost/gosudarstvennye-programmy/programma-dorozhnoj-deyatelnosti-leningradskoj-oblasti-na-period-s-202/> (дата обращения 30.03.2026).

13. Методические рекомендации по выбору конструкций укрепления конусов и откосов земляного полотна. Технологии и механизации укрепительных работ. М: Минтрансстрой, 1981. 111 с.

14. ОДН 218.3.039-2003. Укрепление обочин автомобильных дорог. М.: ГП «РОСДОРНИИ», 2003. 56 с.

УДК 338.22.021.4

ЗАМКНУТЫЙ РЕСУРСНЫЙ ЦИКЛ И РАЗВИТИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ: ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Топольская В. В., Забирова М. Д., Хохлова Л. И.

ФГБОУ ВО «Государственный Университет по Землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

В современном мире быстрый рост населения, урбанизация и интенсивное использование природных ресурсов приводят к увеличению экологической нагрузки на окружающую среду. В условиях ограниченности ресурсов и потребности в повышении экологической устойчивости становится очевидной необходимость перехода к моделям экономической деятельности, основанным на принципах циклической экономики и экономики замкнутого ресурсного цикла. Такая концепция предполагает максимально эффективное использование материалов, минимизацию отходов и внедрение инновационных технологий, способствующих повторному использованию и переработке ресурсов на всех этапах существования продукции.

Основная часть

Концепция экономики замкнутого цикла в отличие от традиционного механизма одноразового использования ресурсов нацелена на их сохранение благодаря более длительному использованию за счет восстановления и возврата в производство [1].

Теоретические основы исследований, связанных с жизненным циклом продукта и экономикой замкнутого цикла, основаны на нескольких ключевых концепциях:

1. Понятие жизненного цикла товара описывает этапы, которые проходит продукт от момента проектирования до утилизации.

2. Экономика замкнутого цикла базируется на принципах эффективного использования ресурсов, минимизации отходов и обеспечения максимально длительного использования материалов и продуктов.

3. Концепция эко дизайна играет важную роль при создании экологически чистых продуктов, которые легко разбираются и перерабатываются. Эко дизайн учитывает весь жизненный цикл продукта, включая такие факторы, как выбор материалов, энергоэффективность и простота разборки, что способствует повышению экологической устойчивости [2].

Ресурсы разделяются на две группы: биологические и технические. Биологические компоненты (органика) после использования безопасно возвращаются в биосферу через компостирование или анаэробное разложение. Технические ресурсы (металлы, пластики) созданы для бесконечного циркулирования в промышленности, без потери качества. Данный принцип позволяет вовлекать продукты обратно в оборот, сохраняя их экономическую ценность.

Основной задачей экономики замкнутого цикла является увеличение использования вторичного сырья для производства новой продукции – при таком подходе в идеальной системе оборотного использования ресурсов, природные ресурсы должны становиться резервным источником снабжения [3].

Для достижения идеально замкнутого цикла необходимо добиться предельной полезности ресурсов, которая заключается в снижении затрат на одну единицу продукции при сохранении качества и экологической безопасности [4]. При таком подходе необходимо придерживаться концепции ресурсосбережения (рисунок 1), которая заключается в рациональном потреблении и стандартизации, обусловленной в свою очередь ограниченностью и конечностью ресурсов. Успешной моделью для ЭЗЦ будет «проектирование для разборки», использующее модульные конструкции и стандартизированные компоненты для ремонта.



Рисунок 1 – Основные направления ресурсосбережения в строительстве

Внедрение принципов экономики замкнутого цикла может стать решением проблемы истощения ресурсов в России. Реализация данной системы приведет к сокращению образования отходов и созданию новых высокотехнологичных рабочих мест при одновременном улучшении экологических и экономических показателей бизнеса.

Новейшие решения

Инновационная технология цифровых двойников позволяет моделировать весь жизненный цикл изделия, оптимизируя процессы разборки и оценивая углеродный след еще на этапе дизайна. Цифровая модель формируется на основе

данных о состоянии физических объектов, их текущих параметрах и состоянии среды (рисунок 2), что позволяет выявить скрытые неэффективности. Повсеместное внедрение цифровых двойников на реальных предприятиях позволит более точно выявлять отклонения в работе оборудования, повысить точность планирования нагрузок и сократить время, в которое оборудование работает в избыточных режимах, что серьезно снизит аварийность [5].

Внедрение «принципов безотходного производства» исключает попадание токсинов в экосистемы, снижая риски респираторных заболеваний и рака легких. Цифровизация процессов способна сократить выбросы CO₂ на 7,5 Гт за десятилетие. Переработка материалов требуеткратно меньше энергии: например, производство вторичного алюминия экономит 95 % энергозатрат. Органические отходы через компостирование восстанавливают природный капитал почв [6].

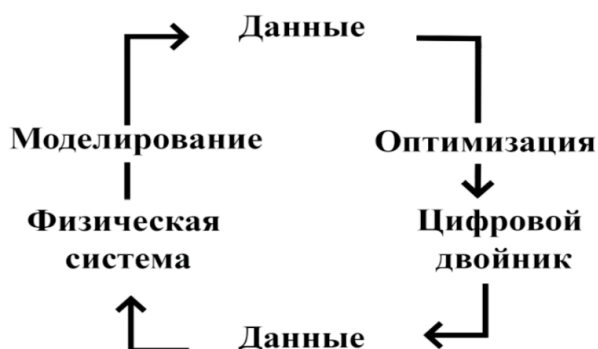


Рисунок 2 – Пример обмена данными между цифровым двойником и физическим объектом

На сегодняшний день в России уже приняты меры по внедрению ЭЗЦ: Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» под руководством Буцаева Дениса Петровича, с помощью которого будет обеспечена вовлеченность ежегодно образуемых отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных ресурсов и сырья. Ключевыми результатами проекта к 2030 году будут являться: реализация отраслевых программ по применению ВР и ВС из отходов в сферах строительства и ЖКХ, сельского хозяйства и промышленности, реализация мер по сокращению использования отдельных видов продукции, не подлежащих переработке, в целях минимизации образования отходов и также создание объектов инфраструктуры обращения с ТКО [7].

ЭЗЦ обеспечивает долгосрочную стабильность мировой экономики перед лицом притока 3 миллиардов новых потребителей к 2030 году. Замкнутый цикл снижает зависимость от волатильных рынков первичного сырья и политических рисков поставок.

Biolive Турция

Biolive появились в 2016 году в инкубационном центре Стамбульского технического университета. Основала компанию Дуйгу Йылмаз – химик, молодая предпринимательница в области биотехнологий. Идея пришла в голову девушке благодаря отцу, который очень любит оливки и оставляет после себя множество косточек. Она решила делать биопластик из оливковых косточек. К проекту присоединились двое ее коллег. По их рассказам, первый образец продукции был получен в домашней лаборатории. Молодые люди презентовали результаты

своей работы. К 2019 году команда получила 3,5 т пластика из 5 т косточек.

Лоор (Канада)

Была основана в 2015 году Даниэлем Соломита в Терребонне (Канада). Соломита работал 12 лет инженером-компьютерщиком в компании Bell (Canada). В 2011 он ушел из Bell и возглавил проект по рекультивации свалок в Южной Каролине. «За это время я познакомился с химиком, у которого была оригинальная идея для нашей технологии (переработка отходов нейлона). Я профинансировал исследования в Монреале – рассказывает Соломита. Компания расщепляет на молекулы использованный полиэтилентерефталат (ПЭТ) и полиэфирное волокно (даже загрязненное) и создает сырье, пригодное для производства упаковки и текстиля. За годы своего существования Loor заключила стратегические партнерства с Coca-Cola, PepsiCo, Danone (Evian), а также с ведущими производителями текстиля и химической промышленности [8].

Проблемы на пути внедрения

Несмотря на значительный потенциал, переход к циклической модели (ЭЗЦ) сталкивается с тем, что современная экономика остается «заблокированной», в рамках линейной системы производства и потребления.

Современные товары часто проектируются как сложные интегрированные системы, не предусматривающие легкой разборки или модернизации.

Отсутствие массовой стандартизации компонентов и материалов (особенно в электронике) делает восстановление технически сложным и дорогостоящим.

Системы сбора и сортировки часто неэффективны или отсутствуют, что мешает компаниям получить доступ к стабильному потоку качественного вторичного сырья. В России наблюдается дефицит мощностей для глубокой переработки сложных отходов, таких как электроника и композиты.

На ЭЗЦ напрямую влияет действующее законодательство: существующая система облагает налогом труд (возобновляемый ресурс), но оставляет практически безналоговым потребление невозобновляемого первичного сырья. Низкая стоимость размещения отходов на полигонах делает переработку экономически непривлекательной для частных инвесторов.

В России статус «вторичного сырья» юридически сложно получить, что создает административные барьеры для бизнеса. Механизмы расширенной ответственности производителей часто слабо интегрированы с реальным формированием рынков вторсырья.

Продуктовая утилизация нацелена на продление срока службы товара, например, через платформы совместного использования, различные программы по ремонту или увеличение продолжительности эксплуатации. Одним из новых способов продления жизненного цикла товара являются обновления ПО по воздуху. Новое ПО повышает остаточную стоимость товара, так как оптимизирует его работу.

Многие компании уже давно придерживаются стратегии материалоеффективности, то есть стараются производить продукцию из меньшего количества материалов. Однако благодаря достижениям в области ИИ и

инновационных технологий материальная эффективность выходит на новый уровень.

Например, компания **SXD Zero Waste** (занимается производством экологически чистых продуктов и утилизацией отходов – прим. ред.) предпринимателя Шелли Сю применяет искусственный интеллект для редизайна макетов одежды, что позволяет сократить количество обрезков при производстве. В результате создаются свитеры, платья или брюки с практически нулевыми отходами ткани и сниженными на 55 % затратами. При традиционном же дизайне остаётся 10–30 % отходов. Таким образом, бизнесу необходимо пересмотреть устаревшие процессы производства и инвестировать в обучение клиентов B2B о потенциале экономии затрат. Использование передовых научных и технологических достижений не только повышает эффективность производства, но и оказывает положительное влияние на цепочки поставок. Такой подход также позволяет увеличить конкурентоспособность, сократить время производства и обеспечить более точный контроль качества продукции. Более того, благодаря этому подходу компании могут снизить вредное воздействие на окружающую среду.

Заключение

Переход к циклической экономике (ЭЗЦ) – это фундаментальная трансформация, направленная на разъединение экономического роста и потребления ограниченных ресурсов. В заключение можно отметить, что замкнутый ресурсный цикл и развитие циклической экономики являются ключевыми направлениями перехода к более устойчивому и экологически ответственному развитию общества. Внедрение инновационных технологий и стратегий позволяет значительно повысить эффективность использования ресурсов, снизить объем отходов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Перспективы развития циклической экономики открывают новые возможности для бизнеса, государства и общества в целом, способствуя не только экологической стабильности, но и экономическому росту. В условиях ограниченности ресурсов и необходимости перехода к моделям устойчивого развития, именно эти концепции будут играть важнейшую роль в формировании будущего на пути к более гармоничному сосуществованию человека и природы.

Список литературы

1. Валько Д.В. Циркулярная экономика: теоретическая модель и эффекты реализации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2018. № 8(14). С. 1415–1429.
2. Мележиков Д.Е., Платонов А.М. Экономика замкнутого цикла – комплексный подход к проектированию, производству и утилизации продукта // Умный регион: устойчивое развитие в цифровой экономике.
3. Олдак П.Г. Равновесное природопользование. Взгляд экономиста – Новосибирск: Наука, 1983 (Серия: «Человек и окружающая среда»). 128 с.
4. Мангушев И.Ф., Полити В.В. Ресурсы и регулирование ресурсосбережения на различных стадиях жизненного цикла строительного объекта // Отходы и ресурсы, 2023. Т. 10. № 1. С. 13 URL: <https://resources.today/PDF/28ECOR123.pdf>.
5. Куница А.В. Инновационные подходы к сокращению выбросов углекислого газа и энергопотребления в промышленности // Современные научные исследования и инновации, 2025. № 1. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2025/11/103899> (дата обращения: 20.03.2026).

6. Мюррей Р. «Цель – Zero Waste». (Перев. с англ.): ОМННО «Совет Гринпис», 2004.
7. Буцаев Д.П., Степкина Е.В., Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», 2025. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/federalnyy-proekt-ekonomika-zamknutogo-tsikla/.
8. Биотопливо из кофе и апсайклинг: десять стартапов, развивающих циклическую экономику URL: <https://www.forbes.ru/sustainability/545002-biotoplivo-iz-kofe-i-apsajkling-desat-startapov-razvivavsih-ciklicheskuu-ekonomiku?image=527767>.
9. Как ИИ может ускорить развитие циркулярной экономики. URL: <https://tramplin.media/news/4/4611?ysclid=mn5zv3eqhlh130554288>.

УДК 678.5:631.1

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Цзинь Льюй, Бобомуродов Ш. У., Скопинцев И. В.

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г Москва, Россия

Введение

Проблема утилизации сельскохозяйственных отходов в условиях роста мирового населения и дефицита ресурсов приобретает всё большую актуальность. В агропромышленном комплексе (АПК) ежегодно образуются сотни миллионов тонн органических побочных продуктов – стебли и солома зерновых культур, фруктово-овощные отходы, навоз животноводческих предприятий. Традиционно они утилизируются сжиганием или депонированием на полигонах, что наносит значительный ущерб окружающей среде и влечёт нерациональное расходование возобновляемого сырья [1].

Одним из перспективных направлений является использование отходов АПК в качестве наполнителей и армирующих компонентов при производстве ПКМ. Это позволяет одновременно снизить нагрузку на экосистему, уменьшить себестоимость готовой продукции и получить материалы с улучшенными функциональными характеристиками [2, 3]. На международном уровне данное направление активно развивается: рынок биоразлагаемых пластиков достиг \$5,43 млрд в 2023 году и, по прогнозам, удвоится к 2030 году [4].

Целью настоящего исследования является анализ существующих методов производства ПКМ с применением вторичного сырья АПК, оценка технологических параметров, физико-механических свойств получаемых композитов, а также их экологической и экономической эффективности.

1. Характеристика вторичного сырья АПК

Сельскохозяйственные отходы подразделяются на две основные группы: растительного и животного происхождения. К растительным относятся стебли злаковых культур (солома пшеницы, риса, кукурузы), остатки плодов и овощей, хлопковые и чайные отходы. Животноводческие отходы включают навоз и продукты его переработки [1].

Солома является наиболее распространённым видом растительных

отходов: выход составляет от 1,5 до 3 тонн на тонну зерна. Химический состав: целлюлоза – 35–45 %, гемицеллюлоза – 25–30 %, лигнин – 15–20 %. Такое соотношение компонентов обуславливает её пригодность в качестве лигноцеллюлозного наполнителя ПКМ. Агроотходы – рисовая шелуха, жмых сахарного тростника, стебли кукурузы – характеризуются высоким содержанием целлюлозы (до 40–50 %), что придаёт прочность и жёсткость получаемым композитам [5].

Фруктово-овощные отходы (кожура, семена, жмых) характеризуются высоким содержанием воды (до 90 %) и богатым органическим составом, что определяет необходимость интенсивной предобработки перед применением в качестве добавок к полимерам. Введение отходов АПК в синтетические полимеры – полипропилен, полиэтилен – является одним из приоритетных направлений создания биоразлагаемых упаковочных материалов [6].

2. Технологии переработки сельскохозяйственных отходов для получения наполнителей ПКМ

Выбор метода переработки отходов АПК определяется их физико-химическими свойствами и требованиями к конечному наполнителю. Физическая (механическая) обработка предусматривает измельчение, гранулирование и прессование для уменьшения размера частиц и облегчения смешивания с полимерной матрицей. Термическая сушка обеспечивает снижение остаточной влажности до 3–5 %, что критически важно для качества ПКМ.

Химическая обработка включает щелочной и кислотный гидролиз с целью разрушения лигниноцеллюлозного комплекса и повышения поверхностной активности волокна. Щелочная обработка раствором NaOH (5–10 %) увеличивает шероховатость поверхности волокна и улучшает адгезию к полимерной матрице. Механические свойства ПКМ улучшаются при повышении межфазного сцепления между волокном и матрицей – за счёт химических и биологических обработок (щелочной, ферментативной, плазменной) [7].

Термохимическая обработка (пиролиз при 400–600 °C) позволяет получать биочар – высокоуглеродный наполнитель, улучшающий механические и барьерные свойства ПКМ. Биологическая обработка – ферментативная деградация и аэробное компостирование – применяется для получения стабилизированного органического наполнителя с заданным химическим составом.

3. Технические расчёты параметров производства ПКМ

Ключевыми параметрами при проектировании состава ПКМ являются объёмная и массовая доли наполнителя, а также механические и тепловые характеристики получаемого материала.

Массовая доля наполнителя W_f рассчитывается как:

$$W_f = \frac{m_n}{m_n + m_m} \times 100\%,$$

где m_n – масса наполнителя, m_m – масса полимерной матрицы. При $m_n = 30$ г и $m_m = 100$ г: $W_f = 30 / 130 \times 100\% \approx 23,1\%$.

Для определения объёмной доли учитываются плотности компонентов. Пример: плотность соломенного волокна после щелочной обработки $\rho_n \approx 1,4$

г/см³, плотность полипропиленовой матрицы $\rho_m \approx 0,91$ г/см³:

$$V_f = \frac{\frac{m_n}{\rho_n}}{\frac{m_n}{\rho_n} + \frac{m_m}{\rho_m}} \times 100\% \approx 16,3\%.$$

Модуль упругости композита E_c определяется по правилу смесей [8]:

$$E_c = V_f \cdot E_n + V_m \cdot E_m,$$

где E_n – модуль упругости наполнителя, E_m – модуль упругости матрицы. При $E_n = 40$ ГПа (целлюлозное волокно), $E_m = 1,5$ ГПа (полипропилен), $V_f = 0,163$: $E_c \approx 7,8$ ГПа, что соответствует данным литературы для биокомпозитов на основе натуральных волокон.

Температура формования устанавливается на 20–40 °С выше температуры плавления матрицы. Для полипропилена ($T_{пл} \approx 165$ °С) оптимальный диапазон составляет 185–205 °С. Время смешения в экструдере – 15–30 мин при скорости шнека 40–60 об/мин.

4. Свойства и применение ПКМ на основе отходов АПК

Введение растительных наполнителей в объёмных долях 10–30 % изменяет физико-механические свойства ПКМ. Прочность на растяжение при неоптимизированном составе может снижаться на 10–20 %, однако применение компатибилизаторов (малеинизированный полипропилен – МАРР) позволяет компенсировать это снижение. Модуль упругости при изгибе возрастает на 15–40 % за счёт армирующего действия целлюлозных волокон [3].

Исследования ПКМ на основе PLA с наполнителем из стебля артишока при содержании 10–40 % масс показали увеличение плотности и модуля упругости при одновременном снижении прочности на растяжение – характерная тенденция, требующая оптимизации состава [8]. Для наполнителей из отходов АПК значительный вклад вносит влагопоглощение (5–20 % в зависимости от вида волокна и региональной влажности), что служит одним из ключевых ограничений применения [2].

ПКМ на основе отходов АПК успешно применяются в производстве погонажных изделий (декинг, плинтус), строительных плит, сельскохозяйственного инвентаря, а также тары и упаковки для пищевой промышленности. В 2023 году РОСБИОТЕХ подтвердил, что ПКМ на основе полипропилена с наполнителем из отходов АПК (свекольный жом, овсяная лузга, шелуха гречихи) обладают высокими физико-механическими и барьерными свойствами и пригодны для контакта с пищевыми продуктами [6].

5. Экологические и экономические эффекты

Использование вторичного сырья АПК в производстве ПКМ обеспечивает существенный экологический эффект: снижается объём отходов, направляемых на сжигание и захоронение, уменьшаются выбросы CO₂ (на 20–35 % по сравнению с традиционными наполнителями), сокращается потребление нефтяного сырья. Рынок переработки органических отходов в России демонстрирует умеренную положительную динамику вследствие активизации спроса со стороны сельскохозяйственной и пищевой отраслей [9].

Экономическая привлекательность определяется доступностью растительного сырья: стоимость соломы – 1–3 тыс руб/т против 30–80 тыс руб/т для стеклянного волокна, что снижает себестоимость готового ПКМ на 15–25 %. Это открывает возможности для замещения традиционных наполнителей в массовых сегментах рынка строительных и декоративных материалов [1].

Вместе с тем необходимо учитывать существенные барьеры: нестабильность состава природного сырья, высокое водопоглощение натуральных волокон и связанное с ним ухудшение долговечности изделий при эксплуатации на открытом воздухе. Решением являются химическая модификация поверхности волокон и применение гидрофобизирующих добавок [7]. Введение ультразвуковой обработки расплавов полиэтиленовых композиций с наполнителями из отходов АПК ускоряет процесс биодеструкции материала, что перспективно для создания биоразлагаемых упаковочных плёнок [10].

Заключение

Проведённый анализ методов переработки отходов АПК для получения наполнителей ПКМ показал, что физическая, химическая и термохимическая предобработка позволяет создавать наполнители с характеристиками, пригодными для промышленного применения. Технические расчёты подтверждают возможность создания биокомпозитов с модулем упругости 6–10 ГПа при содержании растительного наполнителя 15–25 % об.

Применение вторичного сырья АПК в ПКМ представляет собой перспективное направление, сочетающее экологические и экономические преимущества. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на разработке эффективных компатибилизирующих систем, повышении влагостойкости биокомпозитов и стандартизации технологических процессов для масштабирования производства.

Список литературы

1. Рециклинг отходов в АПК справочник / М-во сел. хоз-ва РФ, ФГБНУ "Рос. НИИ информации и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. компл."; [Голубев И.Г. и др., ред.: Л.Т.Мехрадзе, В.И. Сидорова]. Москва: ФГБНУ "Росинформагротех", 2011. 296 с.
2. Shelly, Daksh & Singhal, Varun & Jaidka et al. (2025). Mechanical performance of bio-based fiber reinforced polymer composites: A review. *Polymer Composites*. 46. S9-S43. 10.1002/pc.30000.
3. Khoaele, Katleho & Mphahlele, Justice & Gbadeyan et al. Current Approaches on Natural Fiber Reinforcement Surface Treatment for Construction Material Application. *International Journal of Polymer Science*. 2024.
4. Биоразлагаемые пластики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Биоразлагаемые_пластики?ysclid=mncl2090hu153796721.
5. Rajaram, Srinivasan & Subbiah, Thirugnanam & Arockiasamy et al. (2024). Transforming Agricultural Waste into Sustainable Composite Materials: Mechanical Properties of Tamarindus Fruit Fiber (TFF)-Reinforced Polylactic Acid Composites. *Engineering Proceedings*. 61. 32. 10.3390/engproc2024061032.
6. Биоразлагаемые полимерные композиции для упаковки мясной продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meat-expert.ru/articles/764-biorazlagaemye-polimernye-kompozitsii-dlya-upakovki-myasnoy-produktsii>.
7. Mysamy, Bhuvaneshwaran & Shanmugam, Senthil & Aruchamy, Karthik & Palanisamy, Sivasubramanian & Rajini, N. (2024). A review on natural fiber composites: Polymer matrices, fiber

surface treatments, fabrication methods, properties, and applications. *Polymer Engineering & Science*. 64. 2345-2373. 10.1002/pen.26713.

8. Şen, İ., Sever, K. Production and characterization of agricultural waste natural fiber-filled polylactic acid composites. *Polym. Bull.* 82, 4051–4074 (2025).

9. Переработка органических отходов: развивающийся бизнес в РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/articles/11775/>.

10. Биоразлагаемые полимерные композиции, модифицированные ультразвуковой обработкой в процессе экструзии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/biorazлагаemye-polimernye-kompozitsii-modifitsirovannye-ultrazvukovoi-obrabotkoi-v-protsesse>.

Раздел 3

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

ИЗМЕНЕНИЕ КАТЕГОРИИ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕСТАПРОИЗРАСТАНИЯ

Агафонова Т. Н.^{1,2}, Ведерников К. Е.², Новожилов А. С.¹

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

Общие положения

Еловые леса служат средой обитания для многих видов растений, животных, грибов и микроорганизмов, а также являются ценным ресурсом для лесоперерабатывающей промышленности страны [11]. Между тем в начале XXI столетия фиксируется снижение продуктивности еловых лесов и ухудшение их санитарного состояния на всей территории ареала рода *Picea*. Наиболее существенные изменения наблюдаются в районах доминирования еловых лесов, в том числе в Удмуртской Республике. Основной причиной неудовлетворительного состояния еловых лесов является распространение вредителей и болезней, что тоже связано с изменением природно-климатических условий [4].

Массовое усыхание ельников повышает пожарную опасность и приводит к деградации среды обитания организмов [2]. Неблагоприятное санитарное состояние ели, в свою очередь, может снизить ее годовой прирост и вызвать постепенную гибель [9]. Своевременная диагностика позволяет предотвратить эти негативные последствия.

Ельники, как и другие леса, поглощают углекислый газ. Однако ослабленные и погибающие деревья перестают выполнять эту функцию и даже могут стать источником выбросов CO₂ в процессе разложения [12]. Контроль за состоянием лесов помогает оценивать углеродный баланс и планировать меры по их восстановлению [6].

Исследование санитарного состояния ельников – не просто научная задача, а необходимость устойчивого лесопользования, сохранения природной среды и борьбы с климатическими изменениями [5]. Регулярный мониторинг, внедрение современных методов диагностики и своевременные меры защиты помогут сохранить еловые леса для будущих поколений [7].

Цель исследования – изучение санитарного состояния еловых лесов в таежной зоне Предуралья на примере Удмуртской Республики, выявление основных закономерностей гибели особей в древостое.

Методы исследований

Исследования проводились в 2024-2025 гг. в таежной зоне Европейской части РФ. Для оценки морфологического и санитарного состояния еловых древостоев закладывались пробные площади в соответствии обще принятых методик [8]. Участки елового леса для исследований подбирались с наличием усыхающих и погибших особей, в различных типах леса.

На пробных площадях оценивался видовой состав древостоя, а также таксационные параметры (возраст, высота, диаметр) древостоя. Санитарное

состояние отдельных особей и древостоя в целом определялось по критериям, представленным в Постановлении Правительства РФ от 9 декабря 2020 года № 2047.

Для исследования влияния места и условий произрастания на санитарное состояние древостоев были заложены 2 контрольных пробных площади (ПП7, ПП8), где древостои имели лучшее санитарное состояние, для последующего их сравнения с ПП на которых было обнаружено усыхание. Для сравнения состояния древостоя в различных условиях произрастания контрольные пробные площади закладывались в типах леса подобных тем, где были выявлены усыхающие и усохшие древостои (ЕЧ и ЕШТ).

Пространственное расположение пробных площадей представлено на рисунке 1.

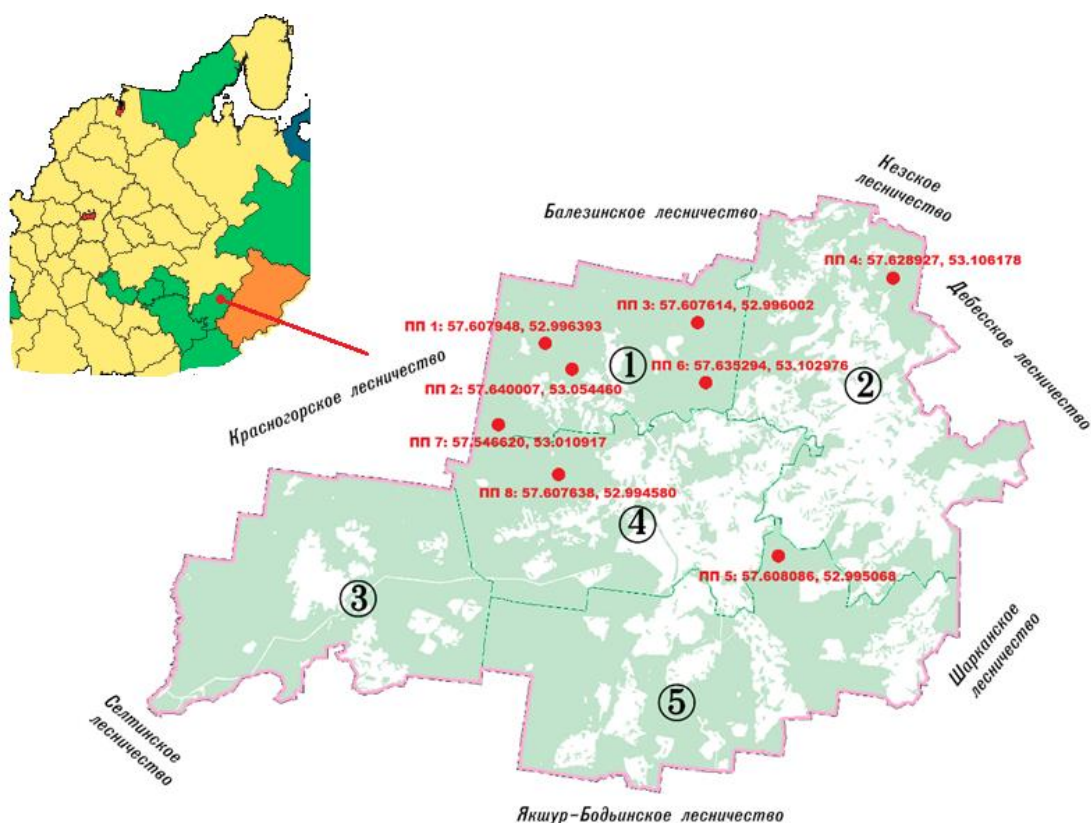


Рисунок 1 – Пространственное расположение пробных площадей на карте Игринского района Удмуртской Республики

Результаты исследований

Все исследуемые еловые древостои по видовому составу относились к смешанным, возрастная группа – от приспевающих до спелых, по продуктивности – 1-3 класс бонитета (таблица 1).

Исследуемые древостои имеют значительное отличие по полноте. Варьирование относительной полноты от 0,3 до 0,7. Это связано со значительным количеством погибших деревьев на ПП 2,4,5 и 6. В этих древостоях объем сухостойной древесины примерно равен объему сыросрастающей.

Таблица 1 – Основные лесоводственно-таксационные показатели исследуемых еловых древостоев

№ ПП	Состав древост.	Порода	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Тип лесораст. условий	Относительная полнота	Густота, шт/га	Запас, м3/га.		
				Диаметр, см	Высота, м					общий	без сухостоя	сухостоя
1	4Е4Б2П	Е	70	20,9	20,2	2	ЕЧ	0,4	508	132	72	61
		П	90	28,2	22,9	2		0,05	120	68	18	49
		Б	60	24,5	22,7	1а		0,6	436	147	143	4
Итого:							0,6	1064	347	233	114	
2	8Е1П1Б	Е	70	20,5	20,9	2	ЕЗМ	0,18	468	234	36	198
		П	75	12,4	18,5	2		0,15	324	40	31	8
		Б	65	30,7	20,5	1		0,12	52	33	33	0
Итого:							0,3	844	307	100	206	
3	5ЕЗБ2П	Е	70	23,7	19,6	2	ЕРТ	0,47	568	232	106	126
		П	70	20,4	18,6	2		0,08	276	82	20	62
		Б	60	23,5	19,5	1		0,53	420	125	122	3
Итого:							0,6	1264	439	248	191	
4	7Е2Б1Лп+П	Е	80	22,3	20,1	2	ЕШТ	0,21	304	268	10	258
		П	85	29,8	19,8	2		0,03	16	18	10	8
		Б	65	35,9	20,2	2		0,17	52	45	45	0
		Лп	70	20,3	19,7	2		0,11	100	28	18	10
Итого:							0,4	472	359	83	276	
5	6Е2Б2Ос+П	Е	70	22,3	21,8	2	ЕЧ	0,33	408	164	75	89
		П	70	18,1	19,6	3		0,03	48	23	8	16
		Б	65	22,1	20,1	2		0,2	204	53	45	8
		Ос	65	29,6	20	2		0,14	88	55	36	20
Итого:							0,4	748	295	164	133	
6	7ЕЗБ	Е	85	18,7	21,6	3	ЕШТ	0,08	436	164	14	150
		Б	65	23,3	22,6	2		0,1	84	25	24	1
Итого:							0,3	520	189	38	151	
7	7Е2Б1Ос+П (контроль)	Е	75	23	20,3	3	ЕШТ	0,95	616	213	205	9
		П	80	23,5	20,1	3		0,05	28	13	13	0
		Б	70	24,9	21,2	2		0,09	64	25	24	1
		Ос	70	35,6	20,6	2		0,08	20	21	21	0
Итого:							0,7	728	272	263	10	
8	6ЕЗБ1П (контроль)	Е	75	21	19,8	2	ЕЧ	0,67	488	136	133	3
		П	80	20,4	19,6	2		0,04	40	16	11	4
		Б	60	27,1	20,8	1		0,25	132	49	49	0
Итого:							0,6	660	201	193	7	

*ЕЧ – ельник черничный, ЕЗМ – ельник зеленомошник, ЕРТ – ельник разнотравный, ЕШТ – ельник широколиственный.

Наиболее высокие показатели коэффициента санитарного состояния наблюдаются (4,52-4,89) в древостоях, которые произрастают на территориях с типами леса ельник зеленомошный (ЕЗМ) и ельник широколиственный (ЕШТ)

(таблица 2). Возможно это объясняется тем, что данные типы леса формируются на более влажных почвах, что негативно сказывается на жизнеспособности и устойчивости еловых древостоев в связи с нарушением гидрологического почвенного режима в межсезонье. Из-за морфологической особенности корневой системы ель не в состоянии выдерживать избыточное увлажнение [13], в связи с чем деревья постепенно ослабевают и теряют способность противостоять неблагоприятным факторам, в виде патогенных вредителей.

Таблица 2 – Санитарное состояние исследуемых еловых древостоев

№ ПП	Тип леса	Древ. пор.	Ед. изм.	Распределение количества деревьев по категориям санитарного состояния					Средневз. кат. сан. сост.
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	14
1	ЕЧ	Е	шт.	20	76	64	112	236	3,99
			%	5,2	67,9	100	87,5	286,5	
		П	шт.	8	4		8	100	4,67
			%	2,1	3,6		6,3	83,1	
		Б	шт.	360	32		8	36	1,24
			%	92,8	28,6		6,3	30,5	
Итого:			шт.	388	112	64	128	372	
			%	36,5	10,5	6	12	35	
5	ЕЧ	Е	шт.		128	8	76	196	4,31
			%		47,1	100	43,2	215,5	
		П	шт.				32	16	4,67
			%				18,2	6,9	
		Б	шт.		112		48	44	3,29
			%		41,2		27,3	62,1	
		Ос	шт.		32		20	36	3,92
			%		11,8		11,4	15,5	
Итого:			шт.		272	8	176	292	
			%		36,4	1,1	23,5	39	
8 (Контр.)	ЕЧ	Е	шт.	408	72	4		4	1,21
			%	75,6	78,3	25		50	
		П	шт.	8	12	12		8	2,69
			%	1,5	13	75		150	
		Б	шт.	124	8				1,05
			%	23	8,7				
Итого:			шт.	540	92	16		12	
			%	81,8	13,9	2,4		1,8	
2	ЕЗМ	Е	шт.	24	84	20	8	332	4,52
			%	16,7	28,8	45,5	66,7	374,6	
		П	шт.	72	208	20	4	20	2,64

			%	50	71,2	45,5	33,3	25,4	
		Б	шт.	48		4			1,27
			%	33,3		9,1			
Итого:			шт.	144	292	44	12	352	
			%	17,1	34,6	5,2	1,4	41,8	
3	ЕРТ	Е	шт.	60	120	32	56	300	3,46
			%	13,9	73,2	72,7	70	143,8	
		П	шт.		24	12	24	216	4,56
			%		14,6	27,3	30	224,2	
		Б	шт.	372	20			28	1,15
			%	86,1	12,2			132,1	
Итого:			шт.	432	164	44	80	544	
			%	34,2	13	3,5	6,3	43	
4	ЕШТ	Е	шт.	16		12	4	272	4,89
			%	12,5		60	12,5	181,1	
		П	шт.	4		4	4	4	3,97
			%	3,1		20	12,5	14,3	
		Б	шт.	28	4	4	16		1,75
			%	21,9	100	20	50		
		Лп	шт.	80			8	12	2,47
			%	62,5			25	4,6	
Итого:			шт.	128	4	20	32	288	
			%	27,1	0,8	4,2	6,8	61	
6	ЕШТ	Е	шт.	104	12	8		312	4,71
			%	65	50	66,7		300	
		Б	шт.	56	12	4		12	1,46
			%	35	50	33,3		100	
Итого:			шт.	160	24	12		324	
			%	30,8	4,6	2,3		62,3	
7 (Контр.)	ЕШТ	Е	шт.	468	80	12	12	44	1,38
			%	87,3	80	75	42,9	283,3	
		П	шт.	4	12	4	8		2,49
			%	0,7	12	25	28,6		
		Б	шт.	44	8		8	4	2,18
			%	8,2	8		28,6	16,7	
		Ос	шт.	20					1
			%	3,7					
Итого:			шт.	536	100	16	28	48	
			%	73,6	13,7	2,2	3,8	6,5	

Характер повреждений усыхающих и погибших особей ели выявил поражение ксилофагами. Особенности маточных ходов под корой позволили идентифицировать патогена, как *Ips typographus* Linnaeus. Помимо типографа выявлен вершинный короед, а на пихте уссурийский полиграф.

Основными индикаторами ослабления еловых насаждений являются насекомые, в первую очередь короед-типограф. Определяющим фактором которого являются многочисленные вылетные отверстия с капельками засохшей живицы [10]. Идентификация короеда-типографа (*Ips typographus* L.) проходила по рисунку ходов [14].

Выявлено, что погибшие особи ели и пихты обладают более крупными размерами, чем деревья 1–3 категории состояния (рисунок 2).

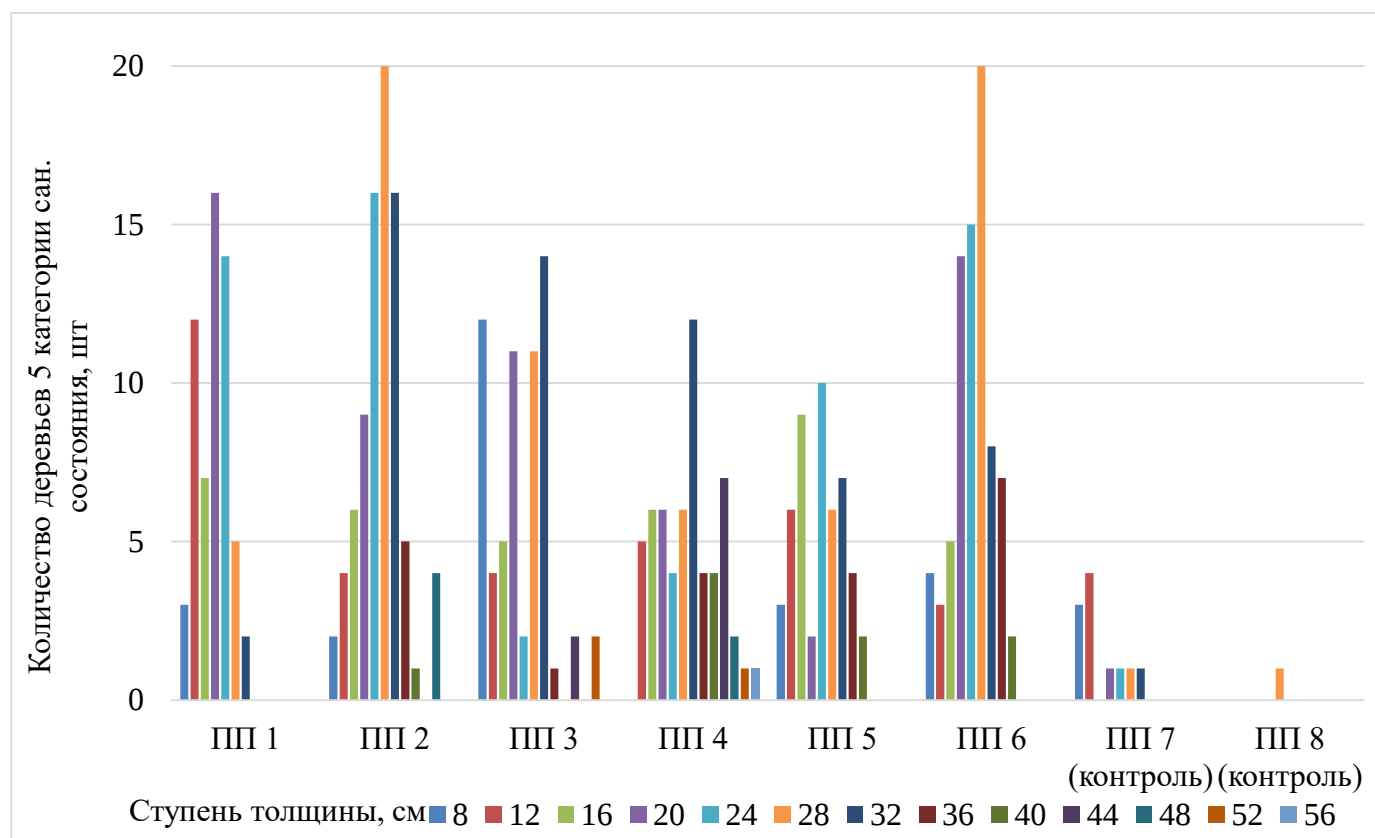


Рисунок 2 – Распределение деревьев 5 категории сан. состояния на ПП по ступеням толщины

По нашим наблюдениям выявляется, что наименее устойчивыми еловыми древостоями являются спелые и перестойные деревья с большим диаметром.

По данным исследования больше всего подвержены усыханию деревья с диаметром от 20 см и более.

Обсуждение

Существующая ситуация, определенная длительной тенденцией усыхания еловых насаждений, выявляет прослеживающуюся направленность закономерностей гибели ельников [3]. Это определяется факторами состояния насаждений, их устойчивостью к антропогенным и биотическим факторам. Сильнее всего выражена ослабленность древостоев по данным наших

исследований в таких типах леса, как ельник зеленомошный и ельник широколиственный, где процент погибших деревьев варьирует от 50 до 80 процентов.

Засухи 2010-2011 годов затронули леса не только Удмуртской Республики, такая проблема затронула весьма обширные территории России. Но в зависимости от природно-климатических условий определились различные закономерности усыхания древостоев. Так, например, в Пермском крае исследования показали, что короед типограф не повреждает деревья чей диаметр был меньше 12 см [1]. Тогда как по нашим исследованиям в Удмуртской Республике деревья с толщиной ствола 12 см и меньше также повреждались короедом типографом.

Для сокращения площадей усыхания ельников в первую очередь необходимо провести работы по учету насаждений с высокой долей усыхающих деревьев и подготовить планы работ по выборочным или сплошным санитарным рубкам, особенно в спелых и перестойных насаждениях, где сложились устойчивые резерваты короеда типографа, которые возникли после засушливых 2010-2011 годов.

Учитывая важную роль усыхания ельников в Удмуртской Республике продолжить изучение данной проблемы с целью поиска эффективных мер борьбы с массовым усыханием еловых насаждений.

Заключение

1. В условиях смешанных насаждений породный состав не оказывает существенного влияния на устойчивость древостоев к усыханию, поражению болезнями и вредителями.

2. Основными факторами снижения устойчивости еловых насаждений выступают диаметр и санитарное состояние древостоев, а также лесорастительные условия.

3. Наиболее неблагоприятное состояние отмечено в ельниках зеленомошного и широколиственного типов леса, где наблюдается высокий процент погибших деревьев, что, вероятно, связано с избыточным увлажнением почв и ослаблением жизнеспособности ели.

4. Установлено, что наибольшей уязвимостью отличаются спелые и перестойные древостои, которые становятся очагами массового размножения короеда-типографа.

5. Необходимо регулярно проводить мониторинг и вести учет древостоев с высокой степенью поврежденности грибными болезнями и насекомыми вредителями.

Список литературы

1. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Усыхание еловых насаждений различных типов леса в Прикамье // Наука и образование: проблемы и перспективы, 2018. Т. 884. С. 1036.
2. Стороженко В.Г. Санитарное состояние коренных ельников тайги европейской России // Лесной вестник. Forestry bulletin, 2023. Т. 27. № 1. С. 17–25.

3. Агафонова Т.Н. Санитарное состояние еловых древостоев по густоте и запасу / Т.Н.Агафонова, С.В.Залесов, Н.М.Итешина и др. // Международный научно-исследовательский журнал, 2025. №. 3 (153). С. 28.
4. Ведерников К.Е. Состояние темнохвойных лесов Удмуртской Республики (на примере зеленомошной группы) // Международный научно-исследовательский журнал, 2024. №. 1. С. 139.
5. Куликова Е.Г. Влияние засух на еловые леса Центральной России // Лесоведение. № 3, 2021. С. 531–546.
6. Бухарина И.Л. Состояние еловых насаждений в районе южнотаежных лесов таежной зоны в Удмуртской Республике // Лесной вестник. Forestry bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 34–43.
7. Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А. Динамика и состояние еловых насаждений в Удмуртской Республике // Лесохозяйственная информация, 2020. №. 3. С. 5-16.
8. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ лесхоз, 1984. С. 60.
9. Prykhodko N.F., Parpan T.V., Prykhodko M.M. Radial increment in European spruce (*Picea abies*) as indicator of sanitary condition of spruce forests in the Ukrainian Carpathians // Biosystems Diversity, 2020. Т. 28. №. 2. С. 131–138.
10. Селиховкин А.В. и др. Динамика состояния популяции короеда-типографа в Ленинградской области в очаге массового размножения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2023. №. 244. С. 184–199.
11. Залесов С.В. Лесоводство / ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». Екатеринбург, 2020. С. 294.
12. Pukinskaya M.Y. Reconstruction of the dynamics of dark coniferous forests of Teberdinskii Nature Reserve and prospects for their natural recovery after mass drying-out // Biology Bulletin, 2023. Т. 50. №. 10. С. 2647–2658.
13. Tužinský L., Bublinec E., Tužinský M. Development of soil water regime under spruce stands // Folia Oecologica, 2017. Т. 44. №. 1.
14. Падий Н.Н. Краткий определитель вредителей леса // 3-е изд., испр. и доп. М.: Лесная промышленность, 1979. С. 240.

УДК 504.61

ВЫРУБКА ЛЕСОВ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА XXI ВЕКА

Адаменко А. О.

ГБОУ ВО «Белорусский национальный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение

Лесные экосистемы, занимающие около трети площади суши, выполняют важную роль в поддержании биосферы. Они являются ключевым компонентом углеродного цикла, регулируют гидрологический режим планеты, сохраняют почвенный покров и служат средой обитания для подавляющего большинства наземных биологических видов. Однако в текущее время антропогенное воздействие на лесные массивы достигло огромных масштабов, превратив проблему нехватки лесов в одну из наиболее острых экологических угроз для устойчивого развития человечества. Стремительная утрата лесного покрова ставит под вопрос выполнение международных климатических обязательств, сохранение биоразнообразия и благополучие будущих поколений.

Основная часть

Обезлесение – полное и необратимое уничтожение древесного покрова с последующим переводом территории в категорию нелесных земель: сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов или пустошей. Деграция лесов представляет собой процесс качественного ухудшения состояния лесной экосистемы, приводящий к потере биоразнообразия, снижению продуктивности и нарушению экологических функций при формальном сохранении территории под лесом. Противоположностью этим деструктивным процессам выступает концепция устойчивого лесопользования, подразумевающая такое хозяйственное использование лесных ресурсов, которое не подрывает их естественного восстановительного потенциала и сохраняет экосистемные услуги для будущего.

Выделяются различные виды антропогенного воздействия на леса:

1. Полная (сплошная) вырубка, направленная на полное освобождение территории для нужд агропромышленного комплекса, добывающей промышленности или инфраструктурного строительства.

2. Выборочная рубка ценных пород древесины, которая, нарушает структуру лесного сообществ и часто осуществляется с нарушениями законодательства.

3. Фрагментация лесных массивов в результате прокладки дорог, линий электропередач или создания обширных вырубок. Это приводит к разделению единых экосистем на изолированные фрагменты, что резко снижает их устойчивость и способность к самоподдержанию.

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций с начала 1990-х годов мировое сообщество утратило приблизительно 420 миллионов гектаров лесных площадей. Наиболее интенсивно деструктивные процессы протекают в тропических и бореальных регионах, образующих так называемые «горячие точки» обезлесения: бассейн реки Амазонки в Южной Америке, островные и континентальные государства Юго-Восточной Азии (Индонезия, Малайзия), центральноафриканский регион бассейна Конго, а также обширные лесные территории Сибири и Дальнего Востока в Российской Федерации. Несмотря на локальные успехи в лесовосстановлении в ряде развитых стран, глобальный тренд остаётся отрицательным.

Расширение агропромышленных площадей под пастбища для крупного рогатого скота, плантации масличной пальмы и сои обеспечивает около 80% обезлесения в тропической зоне. Глобализация рынков приводит к тому, что потребительский спрос в развитых странах напрямую стимулирует преобразование лесов в сельхозугодья на других континентах. Значительный вклад вносят добывающие отрасли (нефтегазовая, горнодобывающая) и связанная с ними инфраструктура, а также масштабные промышленные лесозаготовки.

Социально-демографические причины связаны с бедностью и отсутствием альтернатив экономического развития. Для значительной части сельского населения развивающихся стран лес остаётся источником древесного топлива,

свободных земель для подсечно-огневого земледелия и средств к существованию. Усиливает давление нерешенность вопросов земельной собственности и конкуренцию за ресурсы.

На международной арене ключевыми механизмами решения проблемы является:

- Цель: 15 Целей устойчивого развития ООН, напрямую касающаяся сохранения и восстановления наземных экосистем.

- Многосторонние политические декларации, такие как обязательство более чем ста стран, принятое на Конференции ООН по климату (COP26) в Глазго, остановить процесс обезлесения к 2030 году.

- Внедрение систем добровольной лесной сертификации, позволяющих потребителям делать ответственный выбор.

- Применение современных технологий спутникового мониторинга (например, платформа Global Forest Watch) для оперативного контроля за состоянием лесов.

- Укрепление прав коренных и местных сообществ на управление лесными территориями, чей традиционный уклад зачастую наиболее гармоничен с природой.

Заключение

Проблема вырубки лесов в XXI веке приобрела характер глобальной экологической угрозы. Лесные экосистемы, критически важные для поддержания биосферного баланса, углеродного цикла и сохранения биоразнообразия, подвергаются необратимому уничтожению и деградации под влиянием антропогенных факторов.

Основными движущими силами этого процесса являются экономические интересы (расширение агропромышленных комплексов, добывающая промышленность), социально-демографическое давление в развивающихся странах и институциональные слабости. Последствия обезлесения носят катастрофический и многоуровневый характер, затрагивая климат, водные ресурсы, почвы и благополучие коренных народов.

Для противодействия этой угрозе необходимы скоординированные действия на международном уровне и заинтересованность людей к качественной жизни.

Список литературы

1. Глобальные экологические проблемы 21 века [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://labatm.kz/stati/globalnye-ekologicheskie-problemy-xxi-veka/>– (дата обращения: 19.12.2025).
2. Информационная платформа Global Forest Watch [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.globalforestwatch.org> (дата обращения: 28.12.2025).
3. Living Planet Report 2022. Building a Nature-Positive Society. WWF International, 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wwf.at/wp-content/uploads/2022/10/WWF-Living-Planet-Report-2022.pdf> (дата обращения: 28.12.2025).
4. Global Forest Resources Assessment 2020. Main report. Rome: FAO, 2020. URL: <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/en> (дата обращения: 28.12.2025).

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ С МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аминов Т. В., Смирнова Т. С.

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)
им. И.М.Губкина», г. Москва, Россия

Введение

Попадание нефти и нефтепродуктов в море может иметь, как антропогенный характер в виде деятельности человека по добыче, транспортировке и переработке углеводородов или стоков нефтепродуктов с суши, так и природный характер в виде просачиваний нефти из трещин на морском дне. Однако, вне зависимости от источника загрязнения, образующееся при этом нефтяное пятно в виде тонкой пленки на поверхности воды способно приводить к негативным экологическим последствиям таким, как: гибель морских обитателей и других представителей флоры и фауны или загрязнение побережья. В конечном итоге нефть или нефтепродукт, попавшие в море, приводят к негативным последствиям для человека, поскольку гибель рыб или загрязнение побережья приводит к упадку рыболовной или туристической отраслей. Более того, если причиной попадания нефти в море стал аварийный разлив, то виновное лицо данного разлива несет убытки в виде штрафов и ограничений по продолжению деятельности, в ходе которой данный разлив произошел. В особых случаях виновное лицо может лишиться лицензии по данной деятельности.

В этой связи особенно важным стоит вопрос по обеспечению экологической безопасности морских прибрежных акваторий и прилегающих к ним побережий, где обитает до пятидесяти процентов населения Земли, и где зоны биопродукционных процессов совпадают с освоением нефтяных месторождений на шельфе морскими маршрутами танкеров перевозчиков нефти и нефтепродуктов [1].

Учитывая практически нулевую применимость технологий по приему углеводородов из просачиваний на дне моря, ввиду экономической нецелесообразности, важно сделать акцент на аварийных разливах нефти, как на источниках загрязнения окружающей среды, на которые человек с определенным успехом реагирует, применяя такие методы ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН), как: механический, физико-химический, биологический и термический. В связи с этим важно совершенствовать и внедрять новые технологии и меры по ликвидации разливов нефти.

Методы ликвидации аварийных разливов нефти

Цель, при использовании любого отдельно взятого метода по ликвидации аварийного разлива нефти или их комбинации – это минимизировать экологический ущерб, локализовать нефтяное пятно и удалить максимально возможный объем попавшей нефти в море за кратчайшее время.

При этом необходимо отметить сопутствующие операции по планированию ликвидации разлива, включающие использование спутниковых снимков или авиационной съемки для сбора информации о масштабе разлива, лазерные флуориметры, ультрафиолетовые датчики и инфракрасные сканеры для определения физико-химических свойств нефти или нефтепродукта, а также операции по прогнозированию последствий и, по итогу, выбор лучших вариантов [2].

Использование бонов, бонопостановщиков, скиммеров относится к механическому методу ликвидации аварийных разливов. Этот метод признан наиболее действенным и безопасным, с экологической точки зрения, во многих странах мира, сталкивающихся с разливами нефти и нефтепродуктов.

Для сдерживания нефти и ее перенаправления, а также для защиты крайне экологически уязвимых участков побережья применяют боновые заграждения, состоящих из бонов, соединенных между собой, имеющих, как правило усредненную конструкцию из надводного борта, поплавок, балласта, соединителя, подводной юбки, клапана для выпуска газа. Боны применяются различных типов, однако важным является их общая цель по недопущению дальнейшего распространения нефти или нефтепродукта в море.

На рисунке 1 представлен типичный вид бона занавеса, одного из множества других типов бонов [3].

К особенностям использования бонов относится скорость буксировки, разворачивание и корректный подбор конструкции и типа бона под соответствующую ситуацию. Бон возможно буксировать в соответствии с V, U и J-образной конфигурацией. Так, например, на рисунке 2 изображено применение бона по V-образной конфигурацией, при которой судно нефтесборщик находится посередине, а буксировщики впереди.

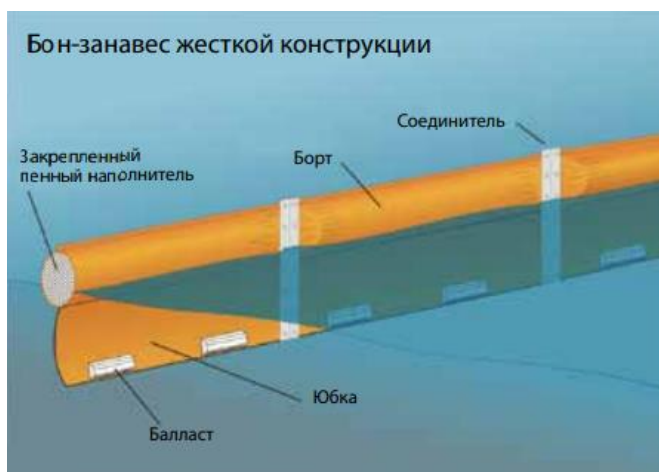


Рисунок 1 – Бон-занавес, имеющий жесткую конструкцию и внешний балласт



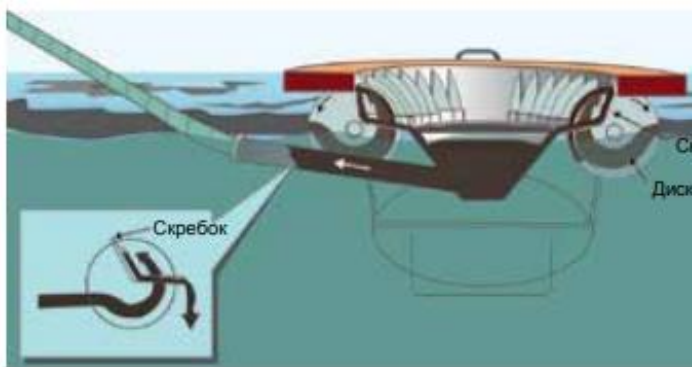
Рисунок 2 – Применение V – образной конфигурации

Достаточная прочность конструкции бона необходима для предотвращения его разрушения, ввиду нагрузок, которые бон должен выдерживать, поэтому важно при выборе конструкции бона рассчитывать предел прочности на разрыв, высоту надводного борта и подводной юбки, вес и

Также важно учитывать и рассчитывать силы течения воды и ветрового потока, действующие на боновое ограждение в момент буксировки и в заякоренном положении. Другой характеристикой, которой нельзя пренебрегать, является скорость буксировки, требующая соблюдения баланса между отсутствием утечки из под бона и достаточной маневренностью буксируемого бона буксировщиками [3]. Вязкость нефти играет также немаловажную роль при выборе скиммера, поскольку не всякий скиммер одинаково эффективен для сбора высоковязкой или маловязкой нефти.

Важным уточнением является нежелательность применения диспергентов в комбинации со скиммерами, поскольку фрагментированные, эмульгированные водонефтяные эмульсии, располагающиеся в толще воды, а не на поверхности не поддаются эффективному сбору скиммерами.

Суть применения диспергентов сводится к дроблению нефтяного пятна на множество мелких капелек путем ускорения природной дисперсии, что показано схематично на рисунке 4 [5].



На рисунке 4 последовательно слева направо представлены процессы напыления диспергентов, уменьшения связи между молекулами воды и нефти под действием поверхностно-активных веществ (ПАВ) и разложение капелек нефти за счет природных микроорганизмов.

141

токсичным, так и по типу применения и составу, а также по механизму действия.

Показатели, которые являются важными при выборе диспергентов это вязкость нефти и температура застывания нефти, поскольку эти показатели влияют на степень механического сопротивления нефти, которое препятствует отсоединению капелек нефти от воды.

Диспергенты могут быть нанесены на поверхность воды с использованием судов или авиационной техники.

Применение сорбентов также является частью вышеупомянутого метода. Сорбенты можно разделить на органические и неорганические, т.е. синтетические. Каждый тип имеет, как преимущества, в виде небольшой стоимости, например, так и недостатки в виде незначительной эффективности, зависящей от вязкости нефти. Органические сорбенты – это торф, опилки, кора и многое другое. Неорганические – это пемза, полипропилен и другие [6].

Критериями для выбора сорбентов являются их плавучесть, способность удерживать нефть долговечность ряд иных параметров. Важно помнить, что сорбенты необходимо вовремя удалять с поверхности воды для предотвращения повторного загрязнения, поскольку со временем сорбент перестает удерживать нефть и начинает ее выпускать.

Наиболее безвредным является применение биологического метода, в основу которого входит применение бактерий и грибов, которые перерабатывают нефть в воду и углекислый газ. На данный момент выведено огромное множество видов бактерий под разные случаи и типы нефти. Имеются даже штаммы способные выдерживать условия арктического холода [7].

На микроорганизмы, способных расщеплять углеводороды влияют следующие факторы: токсичность компонентов нефти, водородный показатель, температура воды и другие факторы. Поэтому корректный подбор микроорганизмов играет ключевую роль при применении биологического метода к решению задач по ликвидации нефтяного пятна. Взятие пробы воды, ее анализ также не ускоряет процесс ликвидации аварийного разлива. К тому же, важно помнить, что диспергенты способны свести на нет использование микроорганизмов, при неправильном их использовании.

Термический метод строго ограничен на территории Российской Федерации, требует соблюдения ряда ограничений и должен быть согласован с Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС), что практически исключает его применение в акваториях морей нашей страны [8]. Тем не менее, данный метод применяется в мире. Выжигание огнем используют при толщине пленки не менее 3 мм. Однако попадание большого объема летучих веществ в воздух может привести к приостановке или полной отмене использования данного метода ввиду высокого риска для жизни персонала, а также повышенному экологическому риску.

Данные методы имеют свои преимущества и недостатки. Важным является то, чтобы их совместное применение не противоречило принципу работы отдельно взятого метода.

Комплексы решений задачи локализации и ликвидации разливов нефти с морских нефтегазовых сооружений

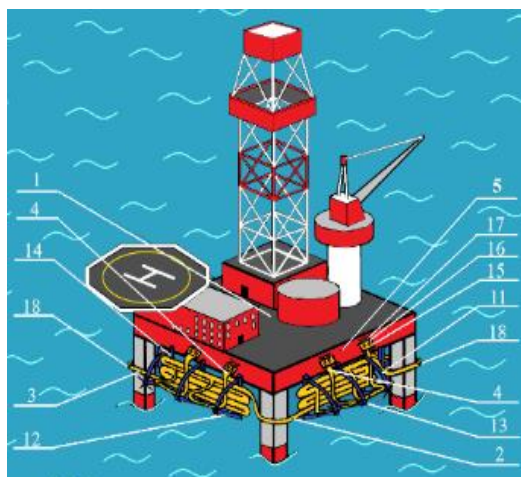
Источниками нефтяного загрязнения в море являются морские нефтегазовые сооружения и суда. Так, например, неисправность оборудования такого, как противовыбросовое оборудование, установленное на дне шельфа моря, отказ линии глушения или дросселирования или человеческий фактор может привести к газонефтеводопроявлению (ГНВП) на морской нефтяной платформе или буровом судне, что в свою очередь приводит к аварийному разливу нефти. Также аварийный разлив нефти может произойти при возникновении пробоины в корпусе нефтяного танкера.

Более того удаленность морских нефтегазовых сооружений, наличие круглосуточного режима работы на данных объектах и необходимость реагирования в кратчайший промежуток времени с момента возникновения разлива с целью недопущения увеличения площади нефтяного пятна и появления большого объема водонефтяных эмульсий и фрагментации нефти, а также сложность в следовании требованиям постановления правительства Российской Федерации № 2451 [8], устанавливающего норматив по локализации разлива нефти и нефтепродуктов в срок до 4 часов с момента появления информации о разливе приводит к пониманию необходимости решения данных проблем с применением существующих методов и технологий по локализации аварийных разливов нефти и внедрение новых или совершенствование имеющихся. Дополнительным осложнением при операциях по ЛАРН является необходимость реагирования на разлив в ночное время суток, когда риск для жизни человека повышен, ввиду отсутствия естественного освещения. Все это способно привести к усложнению операций по дальнейшей локализации и ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов. Попытка решить данные проблемы привело к патентному анализу и анализу научной литературы по заданной теме, по итогу которого возникло понимание необходимости создания устройства для локализации разлива нефтепродуктов с буровых платформ или с судна перевозчика и внедрение его в комплекс решений по локализации и ликвидации аварийного разлива нефти [9]. Данный комплекс решений состоит из алгоритма действий, первым шагом которого является применение устройства в момент разлива для сдерживания нефти или нефтепродуктов до подхода бонопостановщиков или нефтесборщиков.

Схематичное изображение выполнения первого шага алгоритма в варианте одного из возможных исполнений с размещением устройства на судне до и после возникновения аварийного разлива представлено на рисунках 5 и 6.

Алгоритм действий, в рамках комплекса мер по недопущению дальнейшего распространения нефтяного пятна и его ликвидации по итогу, включает использование вышеупомянутого устройства, конструкция которого состоит из ряда элементов, позволяющих крепиться к борту судна и в нужный момент быть выпущенным дистанционно. В последующих шагах происходит дальнейшее окольцовывание разлива подошедшими спустя время постановщиками и его ликвидация с применением скиммеров. Важной ремаркой является тот факт, что все шаги алгоритма в рамках комплекса решений

направлены на способствование в скорейшей локализации и ликвидации разлива. Выполнение данных шагов проиллюстрировано на рисунке 7.



Рисунки 5 и 6 – Схематичная иллюстрация аксонометрического вида на нефтяную платформу с размещенным устройством до и после возникновения разлива нефти

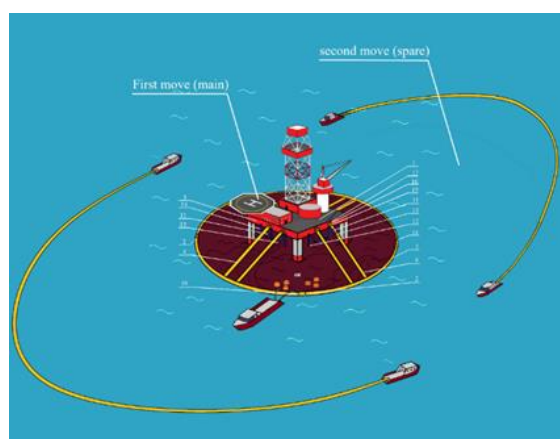
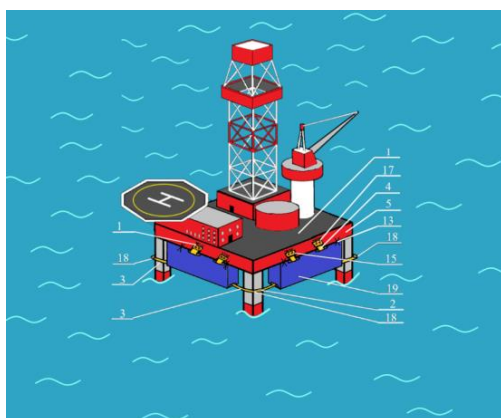


Рисунок 7 – Иллюстрация проведения дальнейших шагов по локализации и ликвидации разлива

Необходимость в универсальности и взаимозаменяемости элементов устройства, а также в его вариативности крепления к борту судна проиллюстрировано на рисунках 8 и 9, где неразрывное боновое заграждение находится емкостях, прикрепленных к борту судна и раскрываемых дистанционно.



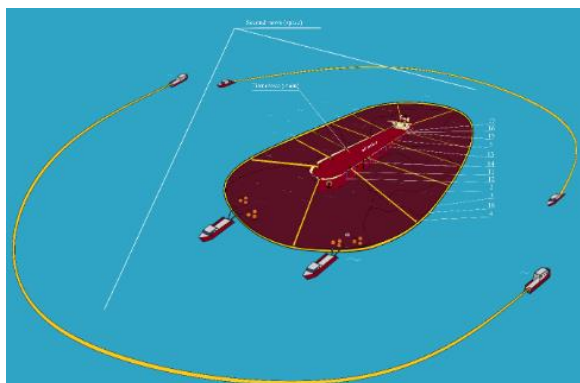
Рисунки 8 и 9 – Иллюстрации аксонометрического вида на буровую платформу с размещенным устройством, с использованием емкостей

Более подробное описание конструкции и принципа работы устройства описано в патенте № 2787389 [9].

Наполнения единой газовой среды бонового кольца возможно, как с применением вмонтированных пиропатронов, так и использование промышленных компрессоров. К тому же, возможна замена надувного бона на сорбционный или другие виды бонов, включая бон с жесткой конструкцией, исключающий необходимость газового заполнения внутреннего пространства.

Экономические и технические расчеты следует проводить при получении информации всей необходимой о типе судна, где предполагается установка устройства и виде нефти или нефтепродукта добываемого или перевозимого.

Рассматриваемый комплекс решений применим и для случаев с разливом нефти с нефтяного танкера или бурового судна, что показано на рисунках 10 и 11.



Рисунки 10 и 11 – Иллюстрация аксонометрического вида на нефтяной танкер и буровое судно с расправленным устройством, при полной заполненности нефтью окольцованного пространства вокруг нефтяного танкера в рамках проведения всех этапов алгоритма действий

Интересным является комбинация применения сорбционного бона со скиммерами установленными на судне, при этом необходимо удостовериться в наличие свободного бака или емкости, например кессонах, куда возможно закачка выливающейся нефти или нефтепродукта.

Выводы

Разработка комплекса решений задачи локализации и ликвидации разливов нефти с морских нефтегазовых сооружений – это шаг к разрешению существующих проблем, связанных с удаленностью данных объектов от берега и всеми сопутствующими трудностями, возникающими при попытке локализовать и ликвидировать аварийный разлив нефти и нефтепродуктов в море.

Благодарности

Выражаю благодарность Министерству природных ресурсов и экологии Свердловской области, а также университетам ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» и ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» за возможность поучаствовать в 7-й Международной научно-практической конференции «Перспективы экологического развития России и стран СНГ», а также сетевому изданию «Управление техносферой» за возможность ознакомиться с работами других

участников конференции и публикацию данной работы. Убежден, что подобного рода мероприятия способствуют развитию осведомленности об экологической безопасности и иных аспектов, связанных с экологией.

Отдельную благодарность хочется выразить главному редактору сетевого издания «Управление техносферой», академику РАН Липаеву Александру Анатольевичу за оперативную коммуникацию.

Список литературы

1. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: Изд-во ВНИРО, 2008. 510 с.

2. Определение методов ликвидации разлива нефти на основе анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ) [Электронный ресурс]: совместное руководство IOGP-IEPSA по надлежащей практике, 2017. URL: https://www.ospri.online/site/assets/files/1130/peba_ru-v2.pdf (дата обращения: 29.03.2026).

3. Использование боновых заграждений при ликвидации разливов нефти // Международная федерация владельцев танкеров по вопросам загрязнения (ITOPF). 2011. 12 с. (Серия технических информационных документов; № 3). URL: https://www.itopf.org/fileadmin/language_variants/TIP_3_2011_RU_FINAL.pdf (дата обращения: 29.03.2026).

4. Савельев Д.В., Ильницкий С.В., Гончаров В.С. Методика ликвидации последствий аварийных проливов нефтепродуктов // Научный Лидер, 2023. № 6 (104). URL: <https://scilead.ru/article/4020-metodika-likvidatsii-posledstvij-avarijnikh-p>.

5. Применение диспергентов для обработки нефтяных разливов: техн. информ. документ № 4 / ITOPF, 2011. 12 с. URL: https://www.itopf.org/fileadmin/language_variants/TIP_4_2011_RU_FINAL.pdf (дата обращения: 29.03.2026).

6. Использование сорбентов при ликвидации разливов нефти: Техническая информационная брошюра № 8. Лондон: Международная федерация владельцев танкеров по загрязнению (ITOPF), 2012. 12 с. URL: https://www.itopf.org/fileadmin/language_variants/TIP_8_2012_RU_FINAL.pdf (дата обращения: 29.03.2026).

7. Штамм *Pseudoalteromonas arctica* для деструкции нефти и нефтепродуктов: пат. 2703142 РФ: МПК C12N 1/20, C02F 3/34, C12R 1/01 / Пономаренко Е.А., Зайцева Е.В., Королькова С.В. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБУН «Федеральный исследовательский центр "Южный научный центр РАН"». № 2018146861; заявл. 26.12.2018; опубл. 15.10.2019, Бюл. № 29. 1 с.

8. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 18.01.2021. № 3 (Часть I). Ст. 583.

9. Патент 2787389 Российская федерация, МПК E 02 B 15/08, E 02 B 15/0871. Устройство для локализации разлива нефтепродуктов с буровых платформ или с судна перевозчика / Аминов Т.В.; заявитель и патентообладатель Уфа. № 2022100896; заявл. 14.01.2022; опубл. 09.01.2023, Бюл. № 1. 13 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПАЛОМНИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Варгузина М. Г., Яковенко Н. В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им.Г.Ф.Морозова,
г. Воронеж, Россия

В современном мире паломничество имеет не только духовное, но и культурное значение, позволяя привлечь внимание к памятникам и другим объектам различных мировых религий. Помимо традиционного религиозного направления, данный вид туризма приобретает новые формы в связи с возрождением интереса к духовно-нравственным и общечеловеческим ценностям, воспитанию гуманности, развитию международного сотрудничества, культурному и духовному росту людей и активным восстановлением ранее утраченной монашеской, молитвенной жизни в монастырях Русской православной церкви по всей территории России.

Монастыри постепенно возвращают себе роль не только духовных центров православия, но и способствуют развитию паломничества, религиозного туризма через организацию комбинированных туров с возможностью временного размещения паломников и туристов в гостиницах при монастырях. Данная тенденция подтверждает реализацию миссии туризма в духовно- нравственном воспитании общества [4].

Проанализируем развитие и популярность паломнического туризма среди населения. На рисунке 1 представим возрастную структуру путешественников монастырей.

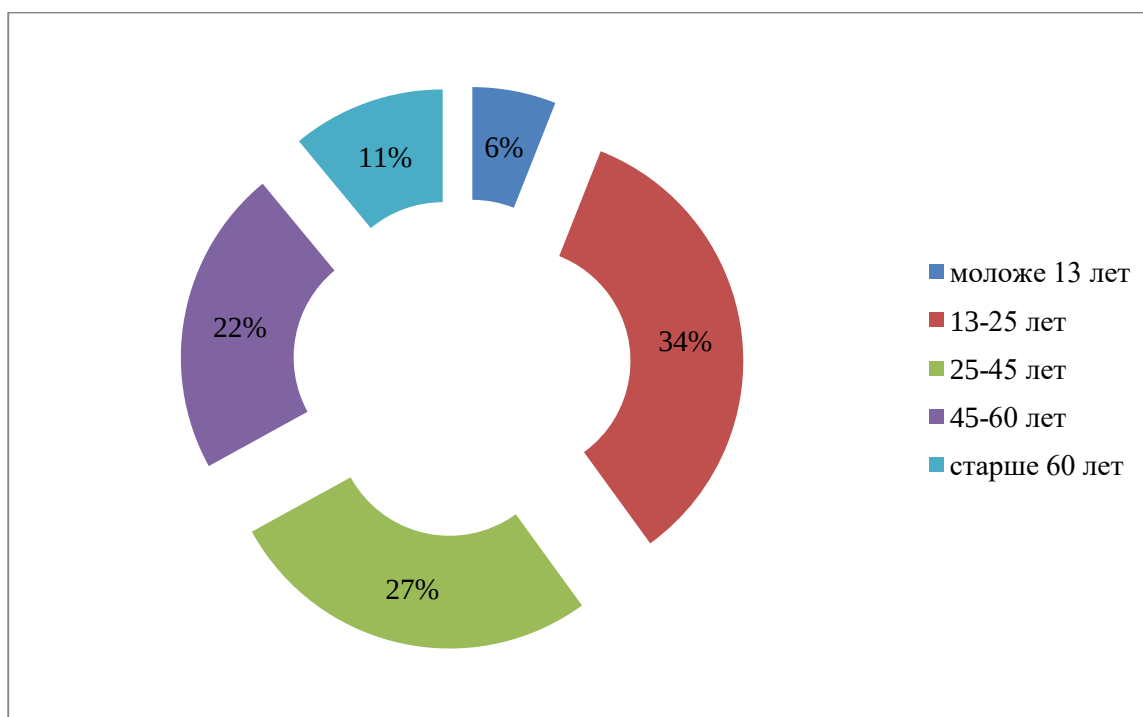


Рисунок 1 – Возрастная структура путешественников монастырей

По данным на конец 2025 года, лидерами по путешествиям в монастыри – 34 % – стали паломники в возрасте 13–25 лет. Чуть меньше – 27 % – это паломники в возрасте от 25 до 45 лет. Как показывают данные графика, популярность паломнического туризма среди молодежи возрастает.

Паломники и гости монастырей останавливаются в обители на несколько дней, что требует наличия гостиницы или ее аналога. Наличие в монастыре гостиницы позволяет не только остановиться на продолжительное время, но и подготовиться к участию в важнейших таинствах церкви в стенах монастыря. Это все приводит к необходимости благоустройства монастырей и их территорий для повышения привлекательности со стороны паломников и посетителей [6].

Паломничество принимается как форма туризма путешественников, мотивированных религиозными убеждениями, либо мотивированных на получение религиозных заслуг перед общиной, покаяния, исцеления от болезней или решения своих мирских проблем [2].

Экологический паломнический туризм – это вид туризма, который сочетает посещение святых мест с бережным отношением к окружающей среде. Такой туризм предполагает, что природа часто является неотъемлемой частью паломнических маршрутов, и паломники стремятся минимизировать негативное воздействие на экосистемы.

Цели экологического паломнического туризма перечислены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Цели экологического паломнического туризма

Примерами экологического паломнического туризма могут выступать:

– Маршрут «Дорога в Лавру» в России. Совмещает элементы экологического, спортивного и паломнического туризма. Это длинное пешеходное путешествие – 120 км, которое включает село Радонеж, Хотьков монастырь, музеи-заповедники «Абрамцево», «Мураново» и полевые и лесные тропы [5].

– Маршрут в северо-восточной части Ташкентской области (Узбекистан). Сочетает экологическое и паломническое направления: включает Ходжикентские петроглифы, Чарвакское водохранилище, каменные дома в деревне Бурчмулла, паломнический комплекс Шейха Умара Вали Богустани в деревне Богустан и таинственную пещеру, которую, согласно местным историям, посетил Бахауддин Накшбанди [3].

– Путешествие к природным святым источникам. Соединяет элементы паломнического, лечебного, образовательного и культурного туризма. В ряде стран мира священные родники и источники законодательно отнесены к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) или объектам природно-культурного наследия [7].

Таким образом, симбиоз экологического и паломнического туризма может проявляться в создании маршрутов, которые сочетают элементы этих направлений. Такой симбиоз может быть связан с тем, что объекты, связанные с природой и религией, могут быть привлекательными для туристов, и существуют проекты, которые предлагают путешествия, сочетающие эти направления.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2019 N 2129-р (ред. от 29.05.2025) «Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года»: [сайт]. URL: edge://settings/privacy/sitePermissions/allSites/siteDetails?site=https%3A%2F%2Fwww.consultant.ru (дата обращения: 15.02.2026).
2. Коновалова Е.Е., Макушева О.Н. Перспективы развития гостиниц для паломников православных монастырей России и специфика их продвижения // Сервис plus, 2025. Т. 19, № 4. С. 185–198.
3. Мартынов В.Л., Балабейкина О.А., Гаврилова К.С. Оценка туристской привлекательности монастырских комплексов (на примере Псковской области) // Региональные геосистемы, 2025. Т. 49, № 4. С. 814–829.
4. Положенкова Е.Ю., Прохорова М.О. Паломнический туризм // Вторые Международные Палестинские чтения Шахтинской епархии: Международный форум, сб. науч. трудов. Шахты: Донской государственный технический университет, 2024. С. 66–76.
5. Стахова Л.В. Основы туризма: учебник для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2025. 327 с.
6. Чупина И.П., Журавлева Л.А., Зарубина Е.В. и др. Роль паломнического туризма на территории Российской Федерации // Российский научный вестник, 2025. № 2. С. 105–112.
7. Шадрина В.О., Есипова С.А. Влияние культурного наследия на развитие туризма в малых исторических городах России // Тенденции устойчивого развития туристских территорий: комплексный подход: материалы Всеросс. научно-практ. конф. с межд. участием. Казань: Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2025. С. 293–296.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Мамедов Э. П.

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана»,
г. Москва, Россия

Введение

В условиях глобализации и ускоренного экономического развития современное общество сталкивается с нарастающими экологическими вызовами, среди которых особое место занимают изменение климата, рост концентрации парниковых газов, деградация природных экосистем и истощение природных ресурсов. Данные процессы формируют жёсткие экологические ограничения для традиционной модели экономического роста и требуют перехода к устойчивым формам природопользования, основанным на интеграции экологических и экономических интересов.

Одним из ключевых направлений такого перехода является формирование устойчивых эколого-экономических комплексов, сочетающих хозяйственную деятельность с сохранением природного потенциала территорий. В международной и российской практике всё большее значение приобретают процессы декарбонизации экономики, развитие карбоновых полигонов и карбоновых ферм, внедрение механизмов «зелёного» предпринимательства и создание эко-индустриальных парков. Эти инструменты рассматриваются как основа для снижения антропогенной нагрузки, повышения ресурсной эффективности и достижения климатических целей.

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью научного обоснования и систематизации современных подходов к развитию эколого-экономических комплексов в условиях трансформации мировой экономической модели и адаптации Российской Федерации к новым экологическим и климатическим требованиям.

Целью исследования является анализ современных тенденций формирования устойчивых эколого-экономических комплексов с акцентом на процессы карбонизации, развитие карбоновых полигонов и карбоновых ферм, а также «зелёного» предпринимательства в международной и российской практике.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать глобальные и региональные экологические ограничения современной экономической модели природопользования;
- рассмотреть роль карбоновых полигонов и карбоновых ферм в системе мониторинга и управления углеродным балансом территорий;
- проанализировать развитие «зелёного» предпринимательства и эко-индустриальных парков как элементов устойчивых эколого-экономических комплексов;
- оценить значение современных методов экологического мониторинга с использованием наземных, беспилотных и аэрокосмических технологий;

– определить перспективные направления формирования сбалансированных природно-промышленных комплексов.

Объектом исследования являются эколого-экономические системы и природно-промышленные комплексы, формирующиеся в условиях современных экологических и климатических ограничений.

Предметом исследования являются процессы карбонизации экономики, механизмы функционирования карбоновых полигонов и карбоновых ферм, а также инструменты «зелёного» предпринимательства и экологического мониторинга, применяемые при формировании устойчивых эколого-экономических комплексов.

1. Карбоновые полигоны и карбоновые фермы

Карбоновые полигоны – это специальные научно-исследовательские участки с типичными экосистемами (рельеф, растительность, почвенный покров), предназначенные для измерения и контроля потоков парниковых газов в природных системах. На таких полигонах устанавливаются полевые лаборатории и инструменты для непрерывного мониторинга CO_2 , CH_4 , NO и других газов. Так, в рамках пилотного проекта Минобрнауки запущена сеть из 19 карбоновых полигонов в разных регионах России (общая площадь $\approx 313\,000$ га) [1]. На приведённом примере [2] (рисунок 1) показана типовая полигонная площадка с мобильной лабораторией и купольными модулями для научных приборов [3, 4].

Современные технологии позволяют комбинировать наземные и дистанционные методы. Для измерения потока газов над всей территорией полигона используются мультиспектральные камеры на беспилотниках и спутниках. Так, при открытии первого карбонового полигона под Тюменью демонстрировали работу дрона для оценки газообмена (рисунок 2) [2, 5]. На полигонах также тестируются подходы к увеличению поглощения CO_2 : от подбора древесных культур до мелиоративных мероприятий. В России концепция карбоновых ферм реализуется как прототипы предприятий для активного улавливания углерода: на таких фермах в полевых условиях отрабатываются лесные и агротехнологии секвестрации углерода [2].



Рисунок 1 – Типовая полигонная площадка с мобильной лабораторией и купольными модулями для научных приборов [2]

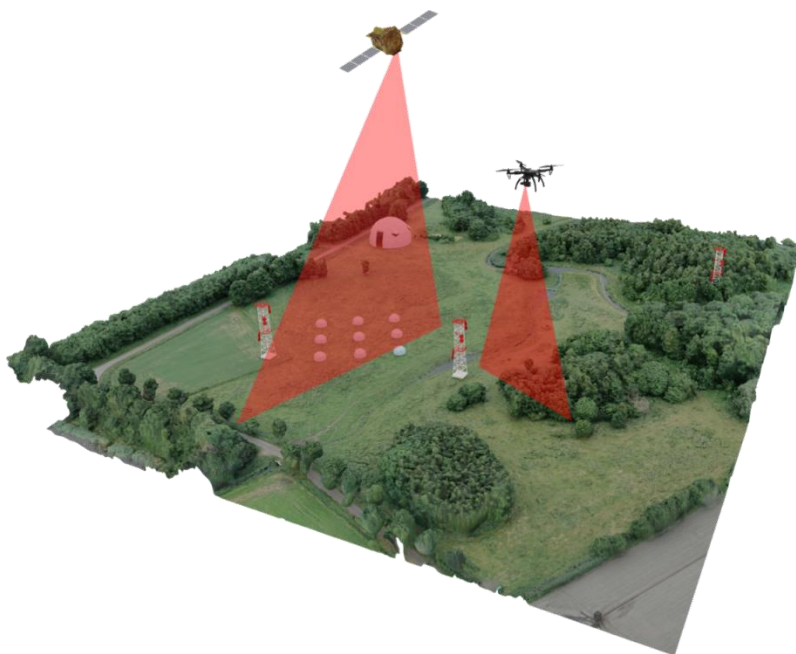


Рисунок 2 – Работа дрона при оценке газообмена при открытии первого карбонового полигона под Тюменью [2]

1. «Зелёное» предпринимательство

В России и мире «зеленое» (экологическое) предпринимательство рассматривается как важнейший фактор устойчивого развития и улучшения экологической обстановки [3]. Всё больше компаний внедряют ESG-проекты и экологические инновации: создаются «зелёные» стартапы, биоэнергетические и ресурсосберегающие производства. Анализ мировой литературы показывает, что переход бизнеса на устойчивую модель ускоряют макро-, мезо- и микроуровневые стимулы:

- **Стимулы:** государственная политика (субсидии, нормативы, «зеленые» инвестиции), давление рынка (потребительский спрос на эко-продукцию) и технологические инновации.
- **Проблемы:** финансовые ограничения, недостаток знаний и квалификации у МСП, бремя первичных инвестиций.

Таким образом, рост «зелёного» предпринимательства тесно связан с продвижением циркулярной экономики и экологических стандартов. Экологический бизнес и инновации рассматриваются как ключевой способ решения текущих проблем окружающей среды [2].

2. Устойчивые эколого-экономические системы и ограничения

Современная экономика сталкивается с нарастающими экологическими ограничениями. Концепция **планетарных границ** показывает, что люди уже превышают безопасные пределы по большинству ключевых процессов (климат, цикл азота, биоразнообразие и др.). Пересечение этих границ грозит крупномасштабными и необратимыми изменениями. В ответ формируются **замкнутые (круговые) модели экономики**: вместо традиционной «линейной» схемы ресурсы повторно вовлекаются в цикл. Например, эко-промышленные парки нацелены на совместное использование сырья, энергии, воды и обмен

побочными продуктами между предприятиями (индустриальный симбиоз). Цель таких инициатив – повысить ресурсную эффективность и снизить нагрузку на экосистемы.

- Глобальные ограничения: изменение климата (повышение CO₂ и температур), деградация почв, истощение водных ресурсов и биоразнообразия [5].
- Стратегии смягчения: развитие «зелёных» технологий и биоинженерии, переход на возобновляемые источники энергии, биоэкономику и циркулярные производственные цепочки [6].

Устойчивые эколого-экономические комплексы предполагают тесную интеграцию хозяйственной деятельности с природными циклами. Это включает природоподобные технологии (биоинновации), повторное использование отходов, снижение выбросов и восстановление экологической среды при планировании развития регионов.

3. Прогноз антропогенных воздействий и экологическое обоснование размещения

Прогнозирование антропогенных воздействий проводится с помощью моделей, больших данных и сценарного анализа, учитывающих изменения климата, землепользования и урбанизации. Это позволяет заранее оценить будущие нагрузки на экосистемы и скорректировать планы развития. Кроме того, перед строительством крупных промышленных или сельскохозяйственных объектов обязательна оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС/государственная экологическая экспертиза). Такая экспертиза анализирует современные экологические условия и «природный потенциал» участка (плодородие почв, наличие водных ресурсов, уязвимость биоценозов и др.) для выбора оптимального места с минимальными экологическими рисками.

4. Природно-промышленные комплексы и эко-индустриальные парки

Экоиндустриальный (природно-промышленный) парк – это сообщество взаимосвязанных предприятий, расположенных на общей территории и кооперирующихся в управлении ресурсами [6]. В рамках индустриального симбиоза компании обмениваются энергией, сырьевыми материалами и побочными продуктами для максимального снижения отходов. Такая модель способствует сокращению экологического следа и повышению конкурентоспособности: предприятия получают выгодное повторное использование вторичных ресурсов, а экосистема получает возможность восстановиться за счет снизившейся нагрузки. Среди преимуществ эко-парков – снижение издержек на отходы и коммунальные ресурсы, развитие технологий утилизации и возобновляемой энергии, а также укрепление «зелёного» имиджа бизнеса.

Примеры (глобальные): в развитых странах создаются экопарки с замкнутыми энергетическими каскадами и общим водоснабжением. В России концепция также начинает внедряться в рамках национальной стратегии циркулярной экономики и поддержки инноваций; ведутся исследования по экономическому стимулированию промышленных симбиозов.

5. Восстановление экосистем, ремедиация и рекультивация

Восстановление нарушенных экосистем – приоритет мирового «зелёного» перехода. Технологии **ремедиации** включают физические, химические и биологические методы очистки и рекультивации почв, водоёмов и земель после техногенного воздействия. Широко применяются фиторемедиация (растения, поглощающие и разрушающие загрязнители), микробные биопрепараты и создание террасно-фитоценозных систем. Важным трендом являются **углерододепонирующие биотехнологии**: разрабатываются методы биоремедиации, ориентированные на сокращение выбросов и усиление поглощения CO₂ [7]. Это позволяет одновременно решать две задачи – очистку сред и повышение углеродного потенциала ландшафтов. Так, учёные МГУ создают технологии микробного и растительного восстановления почв, способствующие «вытеснению» углерода из атмосферы в почву.

Примеры практики: рекультивация техногенных отвалов (создание модифицированного профиля, озеленение, создание ложных террас для накопления воды), восстановление болот и лесных массивов, а также реабилитация промышленных территорий через биологическое опустошение токсинов. Главная цель – сформировать устойчивый биофильтр, способный очищать воздух и землю природными силами.

6. Мониторинг природных комплексов: наземные и космические технологии

Современный мониторинг комбинирует наземные датчики, БПЛА и космические системы. Космические аппараты и спутники наблюдения позволяют регулярно сканировать большие территории: по снимкам можно оценивать состояние лесов, сельхозугодий, качество водоёмов и динамику прибрежных зон. Terra-Tech (РКС) отмечает, что такие данные помогают отслеживать размещение промышленных отходов, свалок, высадку деревьев, опустынивание, лесные пожары, плавление ледников, рекультивацию земель и лесовосстановление [8]. Одновременно наземные станции и беспилотники фиксируют локальные параметры (уровни газов, воду, физико-химические показатели почвы). Например, на карбоновых полигонах применяются дроны с мультиспектральными камерами для оценок газообмена по площадям.

- **Космический мониторинг**: высокоразрешающая съёмка снимает изменения растительности, эрозию, площади водоёмов и др., позволяя построить полную картину изменений.

- **Дроны и БПЛА**: оперативно собирают гиперспектральные данные, применяются для оценки здоровья лесов и полей, аэрокосмический мониторинг позволяет оценить разности концентраций газов по территории [2].

- **Цифровизация и ИИ**: автоматизация обработки больших данных («Цифровая Земля») обеспечивает быстрое выявление экологических аномалий и повышает точность отчётности по ESG [8].

Заключение и авторская позиция

В результате проведённого анализа установлено, что формирование устойчивых эколого-экономических комплексов является необходимым

условием перехода к новой модели развития, ориентированной на снижение антропогенной нагрузки и сохранение природного капитала. Карбоновые полигоны и карбоновые фермы выступают ключевыми элементами системы оценки и регулирования углеродного баланса территорий, обеспечивая научную основу для реализации климатических проектов и механизмов углеродной нейтральности.

Показано, что «зелёное» предпринимательство и эко-индустриальные парки играют важную роль в интеграции экологических требований в экономическую деятельность, способствуя развитию ресурсосберегающих и циркулярных моделей производства. Использование современных цифровых, беспилотных и аэрокосмических технологий мониторинга позволяет повысить точность прогнозирования антропогенных воздействий и обоснованность управленческих решений в сфере природопользования.

Авторская позиция заключается в том, что для Российской Федерации наибольшую перспективу представляет комплексный подход, сочетающий развитие карбоновых полигонов, поддержку «зелёного» предпринимательства и внедрение систем непрерывного экологического мониторинга. Именно такая интеграция научных, технологических и экономических инструментов способна обеспечить формирование сбалансированных эколого-экономических комплексов и устойчивое развитие территорий в долгосрочной перспективе.

Современные тренды

В рамках эколого-экономических комплексов формируется новый подход, основанный на «зелёном переходе» и технологической революции. Среди ключевых тенденций:

- **Декарбонизация экономики:** рост торговли углеродными кредитами и карбоновыми проектами (например, карбоновые полигоны и фермы), развитие «нулевых» выбросов в энергетике и транспорте;

- **Циркулярная экономика:** эко-парки и промышленные симбиозы интегрируют замкнутые циклы ресурсов, что поддерживает устойчивое развитие;

- **Digital-технологии в экологии:** повсеместное применение искусственного интеллекта, нейросетей и больших данных для моделирования и мониторинга (климатических, экологических) процессов;

- **Международное сотрудничество:** обмен опытом и стандартами (соглашения по климату, сети научных проектов) стимулирует внедрение лучших практик.

Список литературы

1. Карбоновые полигоны Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://carbon-polygons.ru/>).

2. Карбоновые полигоны. О проекте [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://carbon-polygons.ru/about/>).

3. Зеленое предпринимательство и аспекты его развития – тема научной статьи по экономике и бизнесу читайте бесплатно текст научно-исследовательской работы в

электронной библиотеке КиберЛенинка [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://cyberleninka.ru/article/n/zelenoe-predprinimatelstvo-i-aspekty-ego-razvitiya>).

4. Зеленая повестка для малого и среднего бизнеса – тренды, вызовы, перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://foresight-journal.hse.ru/>).

5. Planetary boundaries – Stockholm Resilience Centre [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>).

6. Eco-industrial parks | UNIDO [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://www.unido.org/stories/eco-industrial-parks-resource-efficiency-and-industrial-symbiosis>).

7. Рекультивация и ремедиация загрязненных и деградированных почв и земель [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://soil.msu.ru/nauka/innovatsii/innovatsii-na-fakultete-pochvovedeniya/tekhnologii-rekultivatsii-i-remediatsii>).

8. Цифровая экология: потенциал применения данных из космоса – Геофизика-Космос [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://geocos.ru/2023/06/23/cifrovaya-yekologiya-potencial-primene/>).

УДК 339.9:631(510)

«ЗЕЛЕНый» КУРС КИТАЯ В МЕЖДУНАРОДНОМ АГРОСОТРУДНИЧЕСТВЕ

Маринченко Т. Е.

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), Московская область, Правдинский, Россия

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания № 082-00120-26-00 на тему 1.17-26/27 Международное сотрудничество в области устойчивого развития сельского хозяйства и разработка предложений по повышению его эффективности.

Введение

Глобальный «зеленый» переход и связанные с ним экологические императивы становятся доминантой современного этапа развития мировой экономики и политики [1, 2]. Сельское хозяйство, будучи одновременно источником значительных выбросов парниковых газов и сектором, наиболее уязвимым к изменению климата, оказывается в эпицентре этой трансформации. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), агропродовольственные системы играют ключевую роль как в адаптации к изменению климата, так и в смягчении его последствий [3, 4].

2025-2026 гг. ознаменовались качественным сдвигом в международной климатической и экологической повестке. В ноябре 2025 г. в Белене (Бразилия) состоялась 30-я конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP30), которая впервые определила агропродовольственные системы как одно из шести основных тематических направлений Глобальной климатической повестки. Хотя официальные переговоры по агропродовольственным системам были перенесены на 2026 г., сам факт включения сельскохозяйственной тематики в число приоритетов свидетельствует

о признании ее ключевой роли в достижении климатических целей [5].

Одновременно с усилением климатической повестки активизировались усилия по интеграции агропродовольственных систем в национальные стратегии сохранения биоразнообразия. В феврале 2026 г. в штаб-квартире ФАО в Риме состоялось заседание высокого уровня, посвященное реализации Куньминско-Монреальской глобальной рамочной программы по биоразнообразию [6]. Представленные ФАО предварительные результаты анализа обновленных Национальных стратегий и планов действий по сохранению биоразнообразия показывают, что 35 % всех запланированных странами мер по достижению национальных целей в области биоразнообразия напрямую связаны с агропродовольственными системами. При этом 48 % стран сообщают, что утрата биоразнообразия уже негативно сказывается на продуктивности сельского хозяйства [7, 8].

В январе 2026 г. в Берлине прошел 18-й Глобальный форум по продовольствию и сельскому хозяйству (GFFA), собравший министров сельского хозяйства из 59 стран [8]. Ключевой темой форума стала взаимосвязь водной и продовольственной безопасности под девизом «Вода. Урожай. Наше будущее». На форуме признали, что эффективное управление водными ресурсами никогда не было столь важным для реализации прав человека на воду и продовольствие, и подтвердили необходимость интеграции сельскохозяйственной политики в глобальную водную повестку [8, 9].

Таким образом, последние годы обозначился новый вектор в формировании глобальной экологической повестки, характеризующийся конвергенцией климатических, биоразнообразных и водных аспектов устойчивого развития вокруг агропродовольственных систем. Признание их ключевой роли на COP30, интеграция в национальные стратегии сохранения биоразнообразия и акцент на водной безопасности в итоговых документах GFFA 2026 свидетельствуют о формировании нового международного консенсуса: именно трансформация сельского хозяйства становится критическим условием достижения глобальных целей устойчивого развития. В этих условиях особое значение приобретает анализ стратегий ведущих мировых держав, адаптирующих свои подходы к международному агросотрудничеству под новые экологические императивы.

На этом фоне особый интерес представляет трансформация подходов ведущих мировых держав к международному агросотрудничеству. Китайская Народная Республика, за последние десятилетия превратившаяся из страны, сталкивавшейся с проблемой голода, в глобального лидера в области сельскохозяйственных технологий, демонстрирует качественный сдвиг в своей стратегии: от модели преимущественно ресурсной экспансии к позиционированию себя как глобального поставщика экологических решений и «зеленых» технологий для развивающихся стран [10].

Целью статьи является анализ трансформации международной агростратегии Китая, выявление экологического императива и оценка влияния последней на формирование глобальной повестки «зеленого» перехода в контексте современных международных трендов.

Исследование основано на комплексном анализе официальных документов международных организаций, правительственных источников Китая за 2024-2026 гг., доклады специализированных агентств, а также научные публикации. Теоретическую базу составляют концепции международного сотрудничества в области устойчивого развития и теории экологической модернизации [11, 12]. Методологический аппарат включает: институциональный анализ, позволивший проследить эволюцию экологических норм в политике Китая; ситуационное исследование для углубленного изучения конкретных проектов (рисоводство на Мадагаскаре, агроэкология в Уганде, восстановление земель в Анголе, развитие какао в Самоа); сравнительный метод для сопоставления подходов Китая с глобальными экологическими стандартами.

Результаты и обсуждение

Ключевым направлением экологизации международного сотрудничества Китая выступает взаимодействие с Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) в рамках механизма Юг-Юг сотрудничества (South-South cooperation) [4]. В ее рамках реализуется флагманская инициатива ФАО, призванная преобразовать агропродовольственные системы путём поддержки стран в продвижении их особо ценных сельскохозяйственных продуктов «Одна страна – один приоритетный продукт» (One Country One Priority Product, OCOP), реализуемый через Программу ФАО-Китай [13].

Инициатива OCOP направлена на продвижение особых сельскохозяйственных продуктов, обладающих уникальными характеристиками, связанными с конкретными географическими локациями и методами ведения сельского хозяйства. По состоянию на июль 2025 г. 95 государств-членов ФАО обязались продвигать устойчивое развитие 56 особых сельскохозяйственных продуктов, включая бананы (Малави), джекфрут (Бангладеш), сладкую черешню (Узбекистан), какао (Тринидад и Тобаго) и финики (Египет) [12, 13]. Китай принял на себя обязательство в размере 5 млн долл. США, что является крупнейшим единичным взносом в инициативу, на развитие потенциала и проведение демонстрационных мероприятий в 15 странах для продвижения их уникальных продуктов. Эта программа играет большую экологическую роль в продвижении методов ведения сельского хозяйства, которые сохраняют биоразнообразие и адаптированы к местным климатическим условиям, поскольку продвижение отличительных и конкурентоспособных продуктов является эффективным путем достижения устойчивого сельскохозяйственного развития с акцентом на «зеленое производство, зеленое хранение, зеленую переработку и зеленый маркетинг» [13].

Программа OCOP, например, при поддержке Китая активно реализуется в Тихоокеанском регионе. Так, в ноябре 2025 г. стартовал проект по развитию цепочки создания стоимости какао в Самоа, которое было выбрано в качестве «демонстрационной страны» для стимулирования других островных государств Тихого океана [14]. Это сотрудничество открывает новые аспекты в отношениях ФАО и Самоа, и Китай готов обмениваться знаниями и технологиями для улучшения сельскохозяйственного развития [12, 14].

Хорошим примером успешного трансфера климатически-оптимизированных технологий выступает сотрудничество Китая с Мадагаскаром в области гибридного риса [10]. Рис является основным продуктом питания на Мадагаскаре, занимая примерно половину обрабатываемых сельскохозяйственных земель страны. Однако низкокачественные семена и устаревшие методы ведения сельского хозяйства сдерживали производительность.

В 2007 г. Китай запустил проект демонстрационного центра гибридного риса, направленный на продвижение высококачественных сортов и передачу передовых методов ведения сельского хозяйства [10, 12]. Китайским экспертам удалось вывести пять сортов гибридного риса, адаптированных к местным условиям, со средней урожайностью 7,5 т/га, что в 2-3 раза выше, чем у местных сортов. Новые сорта выращивались на совокупной площади около 90 тыс га по всей стране, что сделало Мадагаскар крупнейшим производителем гибридного риса в Африке.

Этот проект также показывает хороший экологический эффект, поскольку не только способствует повышению продуктивности, но и способствует адаптации к изменению климата. Выведенные сорта обладают повышенной устойчивостью к засухе и вредителям, что снижает потребность в химических средствах защиты растений и минимизирует экологический след рисоводства [10]. Это напрямую коррелирует с целями Глобального форума по продовольствию и сельскому хозяйству 2026 (Global Forum for Food and Agriculture 2026, GFFA) по продвижению генетического разнообразия и селекции растений для повышения засухо- и солеустойчивости [8].

Особого внимания заслуживает трехсторонний проект Китай-ФАО-Уганда, реализуемый в рамках механизма Юг-Юг сотрудничества. Проект объединяет экспертный потенциал ФАО, технологические ресурсы Китая и местный опыт Уганды, трансформируя разовую помощь в устойчивое наращивание потенциала [15]. Ключевым элементом проекта стало внедрение экологически устойчивых методов ведения сельского хозяйства, включая систему рисо-рыбного хозяйства. Эта технология, заимствованная из традиционного китайского опыта, позволяет одновременно выращивать рис и разводить рыбу на одном поле, что создает замкнутый цикл: рыба поедает сорняки и вредителей (снижая потребность в пестицидах), а ее отходы служат органическим удобрением для риса. Такой подход иллюстрирует принципы, заложенные в недавно обновленном Плане действий по сохранению и устойчивому использованию лесных генетических ресурсов и других инструментах ФАО по сохранению биоразнообразия [16, 17].

Проект хорошо отвечает потребностям Уганды в климатически-устойчивом сельском хозяйстве, напрямую повышая уровень жизни и способность к самостоятельному развитию угандийских фермеров через технологическое обучение. В последние годы урожайность риса в Уганде растет при одновременном снижении химической нагрузки на экосистемы [15].

В 2025 г. произошел качественный сдвиг в инвестиционной политике Китая в отношении аграрного сектора Африки, где экологический императив также играет в последние годы большую роль. Наиболее показательным

примером выступают проекты в Анголе, где китайские компании приступили к освоению деградированных сельскохозяйственных земель с применением экологически устойчивых методов.

Так, компания Sinohydro получила 25-летнюю льготную концессию на освоение 30 тыс га деградированных земель с применением технологий восстановления почвенного плодородия. Проект предусматривает использование органических удобрений, методов консервирующего земледелия и капельного орошения для минимизации водопотребления. Аналогичный подход реализует CITIC Group, осваивающая 100 тыс га под сою и кукурузу с применением агроэкологических методов.

Реализация этих проектов играет большую роль для экологизации региона, поскольку выходит за рамки собственно сельскохозяйственного производства. Восстановление деградированных земель способствует секвестрации углерода в почвах, повышению биоразнообразия и улучшению водного режима территорий. По данным инициативы, восстановление даже 10 % из 1 млрд га деградированных земель в мире обеспечит не только продовольствием 154 млн человек, что способствует достижению целей по восстановлению деградированных экосистем Куньминско-Монреальской рамочной программы в области биоразнообразия [18, 19].

Еще одним направлением экологизации китайского сотрудничества выступает внедрение технологий точного земледелия в африканское сельское хозяйство. На ферме Fountainhill Estate в провинции Квазулу-Натал (Южная Африка) дрон китайской технологической компании XAG вносит экологический вклад повышая эффективность распыления фунгицидов над полями сахарного тростника [10]. Для ручного распыления пестицидов на 40 га требовалось 30–40 работников, работающих целый день, тогда как с дроном эту задачу выполняет команда из трех человек, значительно сокращая потери пестицидов и минимизируя воздействие на окружающую среду. Такие инновации поддерживают призыв GFFA к использованию цифровых инструментов и технологий для повышения устойчивости и эффективности использования воды в сельском хозяйстве [8].

С момента выхода на южноафриканский рынок в 2020 г. дроны XAG обслужили более 66 тыс га сельскохозяйственных угодий. Сокращение использования химикатов на этих площадях составило в среднем 30 % по сравнению с традиционными методами обработки [10].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что экологический императив становится ключевым драйвером международной повестки [20]. В этом же ключе происходит трансформация китайской международной агростратегии. Китай последовательно позиционирует себя как глобального поставщика экологических решений для развивающихся стран, что формирует новый тип «зеленой» мягкой силы.

В отличие от некоторых западных моделей, действующих путем навязывания экологических стандартов, китайский подход предлагает технологические решения, адаптированные к условиям стран-партнеров и их потребностям в экономическом развитии. Такая стратегия позволяет Китаю

сочетать продвижение экологической повестки с укреплением геополитического влияния и доступа к ресурсам [11].

Важной особенностью китайской модели является интеграция экологических стандартов в механизмы «двустороннего симбиоза», зафиксированные в «Докладе об инвестициях китайских предприятий в Африку 2025» [18]. Это предполагает создание таких отношений, при которых интересы Китая и стран-партнеров в области устойчивого развития переплетаются, обеспечивая долгосрочную экологическую и экономическую устойчивость.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие несколько выводов.

Экологический императив становится системообразующим элементом международной агростратегии Китая. Анализ инициатив 2024-2026 гг. (программа ОСОР с охватом 95 стран и 56 продуктов, климатически-оптимизированное рисоводство на Мадагаскаре с ростом урожайности до 7,5 т/га, агроэкологические проекты в Уганде с внедрением рисово-рыбного симбиоза, восстановление деградированных земель в Анголе на площади 130 тыс га) демонстрирует последовательную экологизацию китайского сотрудничества.

Китай при этом формирует альтернативную модель «зеленого» перехода, основанную на адаптации технологий к местным условиям и интеграции традиционных знаний с современными агроэкологическими подходами. В отличие от западной нормативно-ориентированной модели, китайский подход предлагает прагматичные технологические решения для развивающихся стран, что особенно востребовано в контексте реализации Куньминско-Монреальской рамочной программы, где 48 % стран уже сталкиваются с негативным влиянием утраты биоразнообразия на продуктивность сельского хозяйства.

Экологический императив Китая становится инструментом «зеленой» мягкой силы, укрепляющим геополитическое влияние Китая. Позиционирование как глобального поставщика климатически-устойчивых технологий создает устойчивую основу для долгосрочного присутствия в странах глобального Юга, что подтверждается расширением географии проектов от Африки до Тихоокеанского региона (Самоа как демонстрационная страна ОСОР).

Трансформация китайской модели имеет глобальное значение для формирования новой архитектуры международного агросотрудничества в условиях усиливающегося водного дефицита и климатических изменений. Эффективное управление природными ресурсами и интеграция научно-обоснованных стандартов становятся критическими факторами продовольственной безопасности. Экологизация китайских инвестиций и технологий создает новую нормативную среду, в рамках которой экологические стандарты становятся не барьером, а драйвером развития.

Таким образом, экологический императив выступает ключевым фактором трансформации китайской международной агростратегии, определяя ее вклад в глобальный «зеленый» переход и формируя новую парадигму взаимодействия

стран глобального Севера и Юга в области устойчивого развития сельского хозяйства. Успешная интеграция экологических стандартов в практику международного сотрудничества позволяет Китаю не только укреплять свои позиции в глобальной продовольственной системе, но и вносить реальный вклад в достижение целей устойчивого развития и сохранение биоразнообразия для будущих поколений.

Список литературы

1. Хлыстун В.Н. Научное обеспечение продовольственной безопасности // Вестник Российской академии наук, 2025. Т. 95, № 4. С. 31–34.
2. Мазур О.Г. Всемирная продовольственная безопасность в контексте современных геополитических отношений // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки, 2023. №1. С. 96–104.
3. Маринченко Т.Е. Устойчивое развитие АПК в контексте изменения климата: роль государственной политики // Техника и оборудование для села. № 10 (340), 2025. С. 44–50.
4. FAO. The State of Food and Agriculture 2025: Agri-food systems and climate finance. Rome: FAO, 2025.
5. UNFCCC. Report of the Conference of the Parties on its thirtieth session, held in Belém from 10 to 21 November 2025. FCCC/CP/2025/10.
6. FAO. High-level roundtable highlights the growing role of agrifood systems in National Biodiversity Strategies and Action Plans. February 23, 2026. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/members-gateway/news/detail/ar/c/1757328/> (дата обращения: 17.03.2026).
7. FAO. New in the FAO Biodiversity Knowledge Hub: February update. February 7, 2026. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/biodiversity/news/detail/new-in-the-fao-biodiversity-knowledge-hub--february-update/fr> (дата обращения: 17.03.2026).
8. Global Forum for Food and Agriculture. Final Communiqué 2026: Water. Harvests. Our Future. January 17, 2026. [Electronic resource]. URL: <https://www.gffa-berlin.de/en/communique/> (accessed: 17.03.2026).
9. FAO/WHO Codex Alimentarius. Agriculture ministers spotlight Codex water reuse guidance at GFFA. January 19, 2026. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/news-and-events/news-details/hu/c/1756522/> (дата обращения: 17.03.2026).
10. Xinhua Headlines: China-Africa cooperation charts course for continental agricultural modernization // State Council Information Office. May 19, 2025. [Electronic resource]. URL: http://english.scio.gov.cn/m/in-depth/2025-05/19/content_117882083.html (дата обращения: 17.03.2026).
11. Abbott K.W., Faude B. Hybrid Institutional Complexes in Global Governance // The Review of International Organizations. 2022. Vol. 17, No. 2. pp. 263-291.
12. Liu Q. Guest editorial: Introduction to the special issue: the impacts of China's international economic cooperation on sustainable agricultural development // China Agricultural Economic Review. 2025. Vol. 17, No. 3. pp. 441-444.
13. FAO. OCOP takes a major step forward with support from China [Electronic resource]. July 16, 2025. URL: <https://www.fao.org/one-country-one-priority-product/news-and-events/news/ocop-takes-a-major-step-forward-with-support-from-china/en> (дата обращения: 17.03.2026).
14. FAO. FAO and Samoa kicked off a new cocoa value chain project with China's support [Electronic resource]. November 18, 2025. URL: <https://www.fao.org/asiapacific/news/news-detail/fao-and-samoa-kicked-off-a-new-cocoa-value-chain-project-with-china's-support/en> (дата обращения: 17.03.2026).
15. 阿拉维·塞曼达 (Семанда А.) 重振全球发展伙伴关系的具体实践 (Конкретные практические меры по активизации глобального партнерства в целях развития) // 人民日报. 2025年09月24日第03版. [Electronic resource] URL: <http://paper.people.com.cn/rmrb/pc/content/>

202509/24/content_30106780.html (дата обращения: 18.03.2026).

16. FAO. Second edition of the Global Plan of Action for Forest Genetic Resources. Rome: FAO, 2025.

17. FAO. From seed to shelf: Models for integrating agrobiodiversity into food processing activities. Rome: FAO, 2025.

18. Bloomberg. China's Angola Farmland Deals Signal Shift in Africa Strategy. November 15, 2025. [Electronic resource]. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2025-11-15/china-s-angola-farmland-deals-signal-shift-in-africa-strategy> (дата обращения: 18.03.2026).

19. China-Africa Business Council. Chinese Enterprises Investment Africa Report 2025: Building Integrated Futures: China-Africa Investment and Africa's Regional Integration [R]. Jinhua: China-Africa Business Council, 2025. 147 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.cabc.org.cn/report-en-2025.pdf> (дата обращения: 18.03.2026).

20. Валеева А.И. Регенеративное сельское хозяйство: адаптация к изменению климата и устойчивое будущее для российского сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2025. № 1 (331). С. 40–43.

УДК 711.4

ГОРОДА – ГУБКИ

Сацункевич Е. А., Зайцева П. С.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

За последние десятилетия климатические изменения на нашей планете стали наиболее значительны. Рассматривая на примере Российской Федерации, засухи и наводнения во многих регионах негативно сказываются на условиях и качестве работы городского населения. Опыт затопления Оренбурга в 2024 и 2025 годах ярко показал, что системы отвода дождевых и талых вод, а также системы, направленные на сдерживание и разделение объёмов воды, выходящей из рек при разливах, устарели и не справляются с возросшей на них нагрузкой. Решение этой проблемы предлагает китайский учёный, архитектор **Кунцзян Юй** в виде концепции городов–губок. Её уже используют во многих городах Китая, Индии и Германии. Основные исследования в этой области системы городов губок начались в Китае в 2000-х годах. Причиной этому стало несовершенство работы городских дренажных систем. В силу своей высокой стоимости и сложности создания, многие из них изначально не рассчитываются на приём огромных объёмов воды, приходящих при наводнениях и разливах рек, которые при благоприятном раскладе приводят лишь к нарушению работы транспортных систем, в худшем к сотням разрушенных домов, огромному количеству пострадавших и погибших. Система городов губок первоначально была предложена именно с целью повышения безопасности, а с 2010-х годов всё активнее применяется при строительстве новых городов и модернизации старых.

Принцип работы системы

«Города губки» осуществляют свою деятельность преимущественно за счёт использования различных водопроводящих покрытий городских поверхностей, таких как: автомобильные дороги, пешие улицы и тротуары.

Данные виды покрытий беспрепятственно пропускают через себя весь объём [2–4], приходящей на них воды. Далее, просачиваясь вниз, она проходит несколько степеней грубой очистки и попадает в резервуар финальной очистки и хранения. В свою очередь, это позволяет обеспечить дополнительную подачу воды к любым ближайшим сооружениям, создавая существенную экономию в регионах с повышенной частотой осадков [1] (рисунок 1). А также испарятся, охлаждая воздух и насыщая его влагой в жаркую погоду.

Преимущества системы

Покрытия не ограничены в своём распространении в разных областях городской среды за счёт типового разнообразия. Для дорожных систем часто используют «водопроводящий асфальт». Его изготавливают из крупных фракций щебня, битумного вяжущего и небольшого количества примесей песка. Он отлично проводит через себя воду, тем самым полностью убирая лужи на дорогах (рисунок 2).

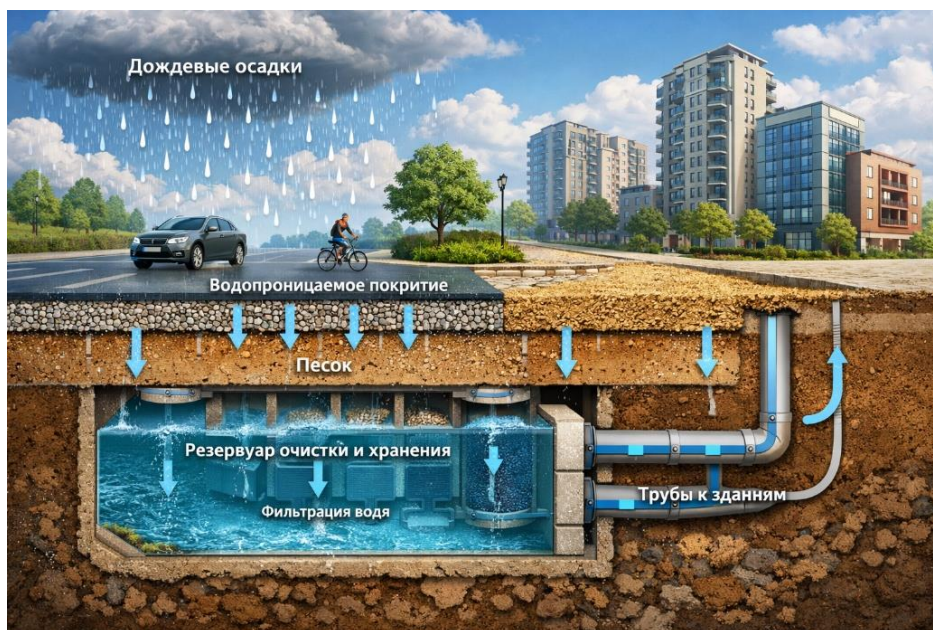


Рисунок 1 – Работа системы «Город губка». Изображение сгенерировано искусственным интеллектом на основе, описанных принципов.

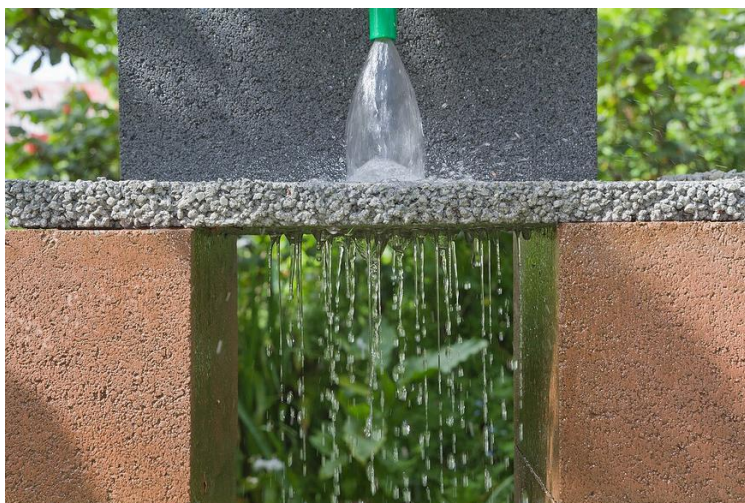


Рисунок 2 – Принцип работы водопроводящего асфальта (Google, Overclockers)

Это значительно повысит сцепление колёс автомобиля с поверхностью асфальта во время дождя и сократит количество ДТП. Тем самым позволяя полностью исключить гидропланирование автомобиля на дороге, скольжение колёс на тонком слое воды (рисунок 3).



Рисунок 3 – Гидропланирование автомобиля с потерей управления (Google photos)

Для пешеходных улиц, площадей и парковых дорожек может подойти даже выложенная на песок тротуарная плитка. Благодаря крупным стыкам она также сможет осуществлять роль губки. Однако подобное решение, несмотря на свою простоту, со временем может начать требовать регулярной очистки из-за загрязнения стыков. Поэтому при строительстве дорожек лучше использовать водопроницаемый кирпич (рисунок 4) или водопроницаемую плитку.



Рисунок 4 – Водопроницаемый кирпич (Google photos)

Они не уступают обычным материалам в красоте и не перестанут выполнять свою основную функцию, тем самым позволяя людям беспрепятственно ходить по паркам и улицам в любую погоду и экономить на ежегодных весенних ремонтных работах.

Благотворное воздействие на психику

Система городов губок также благотворно влияет на психологическое состояние живущих в ней людей. Отправляясь в любую точку города люди проходят через большое количество цветочных садов, водоёмов и фонтанов. Деревья и озёра оказывают мощное терапевтическое воздействие на психику, снижая уровень кортизола (гормона стресса), тревожности и депрессии [5-6]. Также они смягчают городской шум, позволяя человеческому мозгу расслабиться от постоянных громких звуков. Значительное влияние на снижение стресса оказывают цикличнодвигающиеся объекты. Ими могут быть кроны деревьев, трава или волны на поверхности озёр. После продолжительного наблюдения за подобными объектами, человек восстанавливается, повышается его работоспособность, внимательность и концентрация.

Озеленение кровель мегаполиса

Водопроницаемые покрытия важны для общего климата города, а как насчет микроклимата отдельного многоэтажного дома. Дополнительным решением проблемы затопления является озеленение крыш и создание вертикальных садов. Огромное количество осадков падает на крыши жилых и общественных зданий, стекает по водостокам вниз на отмокту и улицу и только ускоряет процесс затопления. Ведь воде нужно еще время, чтобы достичь ливневки, а в аномально сильные дожди на счету каждая секунда. Но зеленые крыши устроены так: на кровлю здания укладывают множество слоев дренажа, водонакопительных матов, слой почвы и сами растения [8] (рис. 5).

Дренаж отводит лишнюю влагу, а керамзит может впитывать в себя и удерживать воду, а также обеспечивать аэрацию корневой системы, задерживать вымывание почвы и предотвращать засорение водостоков. Крыша будто бы превращается в огромный горшок с растениями. «Горшок» удерживает водные потоки полностью или их большую часть, лишняя влага будет продолжать стекать по водостокам, но уменьшит нагрузку на водосточные системы.

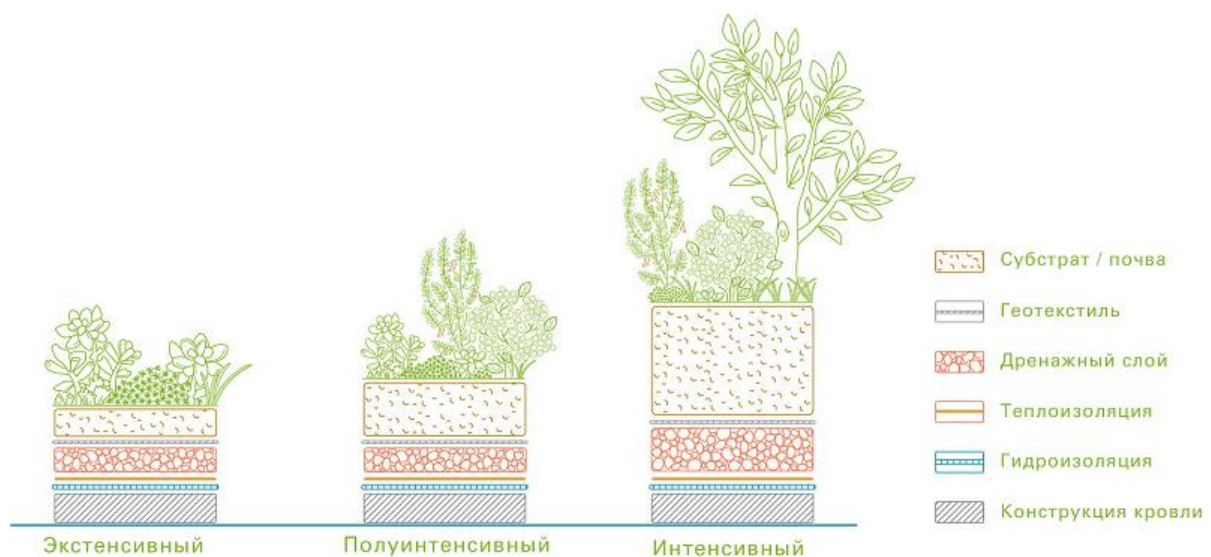


Рисунок 5 – Схема устройства «зеленых крыш» (Google photos)

Для максимальной интенсивности удерживания влаги и минимального обслуживания подходят суккуленты, мхи, злаки, мелкие кустарники. У зеленых крыш много плюсов: охлаждение помещения – солнце не жарит на кровельное покрытие, снижается количество использования кондиционеров, на верхних этажах становится прохладнее. Растения поглощают углекислый газ и очищают воздух. Зеленые крыши становятся мини экологическими системами и островками жизни в бетонном городе [9].



Рисунок 6 – Пример озеленения кровли мхами и суккулентами (Google photos)

Дождевые сады

Еще одна задумка борьбы с потопами – это дождевые сады. Сады располагаются в уровень с землей, к ним подведены по асфальту водоканалы. Вода с дорог, тротуаров и крыш стекает в водный сад, и образует контролируемый поток, с двух сторон засаженный растениями [7]. Корневая система растений фильтрует, очищает воду от пыли, уличной грязи и иных городских загрязнений. Этот поток ведет в ливневки и далее по подземным каналам попадает в местные реки и стоячую воду, уходит в почву, часть влаги испаряется. Дождевые сады создают в общественных пространствах, дворах, парках, улицах с неоживленным транспортным движением.

Удачным примером является проект «Зелёная долина» на территории культурного центра Цзинин в Китае – территория понижена на 2 метра, что обеспечивает глубокую посадку деревьев и создание дождевого сада. Поверхность выполнена из гибкого водопроницаемого асфальта, а пойма длиной 600 метров и глубиной 0,5 метра способна вместить до 600 кубометров воды. Вода, достигшая переполнения, уходит в городскую ливневую систему через специальные колодцы, а само пространство оформлено влажно обитаемой флорой. Аналогичную по замыслу систему можно увидеть в жилом квартале Neuss-Weckhoven в Германии (рисунок 8), где водная артерия является доминантной в ландшафтной системе.

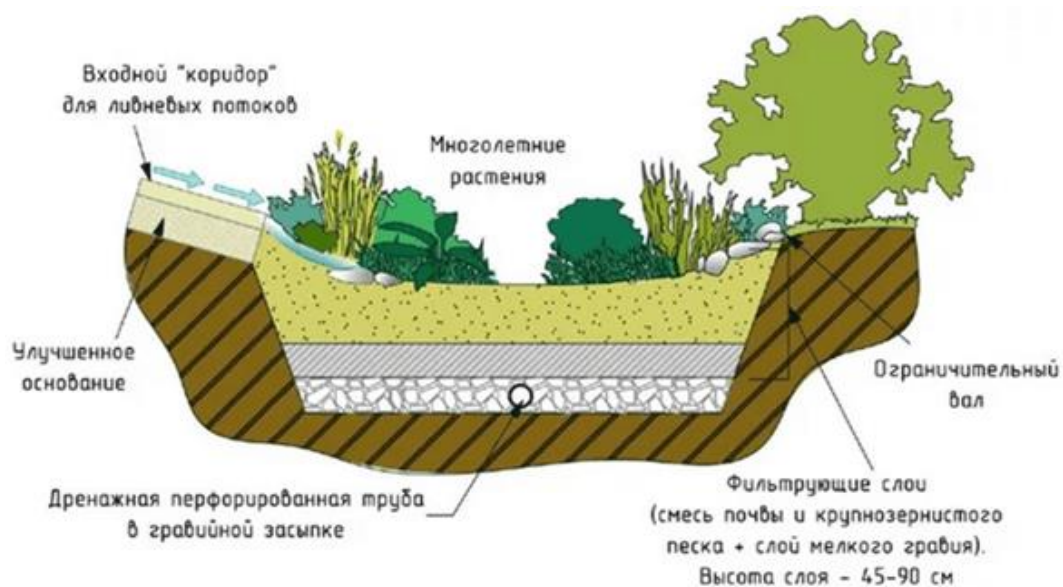


Рисунок 7 – Схема устройства дождевого сада (Google, media.contented.ru)



Рисунок 8 – Квартал Neuss-Weckhoven в Германии (Google photos)

Заключение

Таким образом, учитывая проблему стремительно изменяющегося климата на нашей планете, применение системы городов губок в постройке новых и адаптации старых городов, является наиболее выгодным решением сразу нескольких проблем, накопившихся за последние десятилетия: снижение общей температуры улиц и насыщение воздуха влагой за счёт испарения

накопившейся воды, обеспечение более стабильной работы внутригородской транспортной системы, дополнительная подача воды близлежащим постройкам, насыщение городских пространств зеленью и водоёмами, а также более выгодное строительство городской инфраструктуры за счёт снижения цен на закупку водопоглощающих материалов по мере распространения системы.

Список литературы

1. IIT-BHU students create bricks from waste to harness rainwater, replenish groundwater level / Education News – The Indian Express. URL: <https://indianexpress.com/article/education/iit-bhu-students-create-bricks-from-waste-to-harness-rainwater-replenish-groundwater-level-6063998/>.
2. «Кирпичи» из битой посуды: китайская компания выпустила водопроницаемые блоки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://archi.ru/tech/99520/kirpichi-iz-bitoi-posudy-kitaiskaya-kompaniya-vypustila-vodopronicaemye-bloki>.
3. Permeable YiBrick: водопроницаемый кирпич из керамических отходов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vzavtra.net/materialy/permeable-yibrick-vodopronicaemyj-kirpich-iz-keramicheskix-otxodov.html?ysclid=mo2feo0zcq933156837>.
4. Психология и природа.
5. Человек-гармония-природа / А.А. Горелов; АН СССР.- Москва: Наука, 1990. 186 с.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. Москва: Прогресс, 1986. 431 с.
7. Дождевые сады: как работает территория с технологией регулирования стока воды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.architime.ru/activity/2025/rain_gardens.htm.
8. Кровельная изоляция. Кровельное озеленение. Ошибки. Проблемы. Гидроизоляционные материалы. Краткое изложение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e-univers.ru/upload/iblock/ecb/e4xp6m8l7mdcqtgtiy3y34sifngpgns6.pdf>.
9. ЭБС «Лань». Читалка. URL: <https://e.lanbook.com/>.
10. Кайзер Н.В., Фролова Т.И., Галиуллина З.Д. Дождевой сад в условиях городской среды. Электронный архив УГЛТУ. С. 198-203. URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/14412/1/VCh_25_33.pdf.

УДК 504.064.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA

Слюсарева А. П., Шакирова А. И.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ», Республика Татарстан, г. Казань, Россия

Введение

Современный промышленный город представляет собой сложную динамическую систему, где техногенные процессы тесно переплетаются с природными. Рост производственных мощностей, увеличение количества автотранспорта и высокая плотность населения создают беспрецедентную антропогенную нагрузку на атмосферу, водные ресурсы и почвы. В этих условиях традиционная система экологического контроля, базирующаяся на данных стационарных постов и лабораторных анализах, демонстрирует свою недостаточность. Главными недостатками являются дискретность измерений, запаздывание информации и невозможность учета множества косвенных

факторов в их взаимосвязи.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью перехода к качественно новому уровню мониторинга – проактивному и высокоточному. Решение этой задачи видится в конвергенции методов математического моделирования и технологий обработки больших данных (Big Data). Использование Big Data позволяет интегрировать в единую систему разнородные потоки информации: от показаний тысяч датчиков до спутниковых снимков и данных градостроительных планов. Это создает предпосылки для построения цифрового двойника экологической обстановки города, способного не только фиксировать текущее состояние, но и прогнозировать его изменение с высокой точностью.

Теоретические основы исследования

В основе проектирования современной системы мониторинга лежит понимание экологического мониторинга как иерархической, многоуровневой системы. Классическое представление включает в себя три классических звена: наблюдение, оценка и прогноз. Однако в условиях Big Data эта структура трансформируется в киберфизическую систему, где ключевую роль играют обратные связи и интеллектуальная обработка данных.

Основными компонентами такой системы выступают:

1. Распределенная сеть датчиков и источников данных: Включает не только стационарные газоанализаторы и метеостанции, но и мобильные комплексы (установленные на общественном транспорте), данные космического мониторинга, а также информацию от промышленных предприятий (данные автоматизированных систем контроля выбросов).

2. Инфраструктура сбора и передачи данных: Обеспечивает бесперебойное поступление информации в центры обработки. Критически важным здесь является использование протоколов интернета вещей (IoT) для обеспечения работы в реальном времени.

3. Программно-аналитический комплекс на базе Big Data: Ядро системы, включающее в себя хранилища данных (озера данных), инструменты их предобработки (очистка, агрегация, нормализация) и модули аналитики.

4. Подсистема прогнозирования и визуализации: Использует построенные математические модели и алгоритмы машинного обучения для создания краткосрочных и долгосрочных прогнозов, а также для визуализации экологической обстановки в виде интерактивных карт и отчетов [1].

Методология исследования

Для достижения поставленной цели – создания эффективной модели мониторинга – был применен комплексный подход, синтезирующий несколько научных методов. Теоретической базой послужили методы математического моделирования, позволившие формализовать процессы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере с учетом турбулентности и рельефа местности. Для работы с разнородными данными использовались методы обработки больших данных, включая фреймворки распределенных вычислений (например, парадигма MapReduce), позволяющие параллельно обрабатывать

терабайты информации. Статистический анализ применялся для выявления корреляций между выбросами предприятий и фиксируемым уровнем загрязнения. Ключевую роль в создании прогностической функции сыграли методы машинного обучения, в частности, ансамблевые алгоритмы (случайный лес, градиентный бустинг), показавшие наилучшую способность к учету нелинейных зависимостей. Пространственное моделирование (ГИС-технологии) позволило привязать все расчеты к конкретным географическим координатам и создать детальные карты загрязнения.

Математическая модель системы мониторинга

Центральным элементом исследования является разработка математической модели, адекватно отражающей сложную природу городского загрязнения. Предложенная модель базируется на предположении, что уровень загрязнения в конкретной точке пространства в заданный момент времени является функцией нескольких ключевых групп факторов. Формально это выражается следующим уравнением:

$$E(x, y, t) = f(P(t), Q(x, y, t), M(x, y, t), R(x, y)),$$

где $E(x, y, t)$ – интегральный уровень загрязнения в точке с координатами (x, y) в момент времени t ;

$P(t)$ – векторный показатель производственной активности. Параметр, учитывающий режим работы предприятий (цикличность, сезонность), технологические процессы и состав выбросов. Данные поступают от систем автоматического контроля предприятий.

$Q(x, y, t)$ – метеорологические условия в конкретной точке. Включает температуру, влажность, скорость и направление ветра, уровень атмосферного давления. Эти параметры критически важны, так как определяют процессы рассеивания, переноса и трансформации загрязняющих веществ. Учитывается пространственная неоднородность погоды в разных районах города.

$M(x, y, t)$ – интенсивность и структура транспортных потоков. Модель учитывает не только количество автомобилей, но и их состав (легковые/грузовые, тип двигателя), а также дорожную ситуацию (пробки, средняя скорость движения), что влияет на объем выхлопных газов.

$R(x, y)$ – топографические и градостроительные характеристики местности. Статический, но крайне важный фактор. Включает высоту над уровнем моря, наличие зеленых насаждений (легкие города), плотность и высоту застройки (эффект городского каньона, препятствующий проветриванию), близость водных объектов.

Функция f представляет собой нелинейную зависимость, которая аппроксимируется с помощью методов машинного обучения на основе исторических данных [2].

Результаты компьютерного моделирования

Для верификации предложенной модели было проведено компьютерное моделирование на полигоне, представляющем собой условный типичный промышленный город. В качестве исходных данных для обучения и

тестирования модели использовались:

– Детальные ряды данных с виртуальных метеостанций, охватывающие все районы города.

– Графики производственной активности и замеренные (симулированные) объемы выбросов от 15 крупных промышленных объектов.

– Данные о транспортных потоках, дифференцированные по времени суток и дням недели.

– Цифровая карта местности с подробной информацией о рельефе и застройке.

Моделирование осуществлялось в два этапа: обучение на ретроспективных данных (за 3 года) и последующее тестирование точности прогнозов на новых данных. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Значение
Максимальный уровень загрязнения	0,85 усл. ед.
Средний уровень	0,52 усл. ед.
Количество критических зон	4
Точность прогноза	92%
Время реакции системы	2 минуты

Высокая точность прогноза (92 %) достигнута благодаря учету всего комплекса факторов и применению ансамблевых методов машинного обучения. Выявление четырех критических зон позволило локализовать участки с устойчивым превышением ПДК. Время реакции системы в 2 минуты является достаточным для реализации оперативных мер оповещения населения или корректировки работы городских служб.

Алгоритм прогнозирования

На основе разработанной модели был создан алгоритм прогнозирования, реализованный в виде программного модуля. Его работа представляет собой конвейер последовательных этапов обработки данных:

1. Сбор и агрегация данных: На этом этапе информация от всех источников (датчики, метеослужбы, предприятия, ГИБДД) стекается в единое распределенное хранилище (озеро данных). Происходит первичная агрегация и синхронизация временных рядов [6].

2. Предварительная обработка и очистка: Критический этап работы с Big Data. Выполняется обнаружение и фильтрация аномальных значений (выбросов), восстановление пропущенных данных (например, методом интерполяции), а также приведение данных к единому формату (нормализация).

3. Формирование признакового пространства: на основе очищенных

данных создается многомерная матрица признаков для обучения модели. В нее входят не только текущие значения параметров, но и их лаговые значения (данные за предыдущие часы), а также агрегированные статистики (среднее, максимум за период).

4. Обучение и валидация модели: Исторические данные делятся на обучающую и тестовую выборки. Производится обучение модели градиентного бустинга с последующей кросс-валидацией для настройки гиперпараметров и предотвращения переобучения.

5. Прогнозирование: Обученная модель принимает на вход актуальные данные и выдает прогноз уровня загрязнения для каждой точки города с заданным горизонтом (например, на 6, 12 и 24 часа вперед).

6. Визуализация и оповещение: Результаты прогноза визуализируются на геоинформационной карте города в виде тепловых карт. При обнаружении риска возникновения критической зоны система автоматически генерирует оповещения для природоохранных органов и населения.

Обсуждение результатов

Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты убедительно доказывают состоятельность предложенного подхода. Точность прогнозирования на уровне 92 % является высоким показателем, достаточным для принятия взвешенных управленческих решений. Это позволяет перейти от стратегии реагирования на уже случившееся загрязнение к стратегии его предотвращения или минимизации последствий.

Практическая значимость модели заключается в её функциональных возможностях:

- Оперативный контроль. Система обеспечивает мониторинг состояния воздуха в режиме, близком к реальному времени.

- Аналитика больших данных. Автоматическая обработка потоков информации позволяет выявлять скрытые закономерности и источники загрязнения, которые невозможно обнаружить при ручном анализе.

- Прогнозирование неблагоприятных ситуаций. Возможность предсказать ухудшение экологической обстановки за несколько часов дает время на запуск экстренных протоколов (например, ограничение движения или приостановка работы вредных производств при определенных метеоусловиях) [3].

- Оптимизация инфраструктуры. Данные о расположении критических зон могут служить основой для принятия решений о размещении новых очистных сооружений, изменении транспортных развязок или высадке зеленых насаждений.

Заключение

В ходе выполнения исследования была разработана и апробирована математическая модель системы экологического мониторинга, интегрирующая данные различных типов и использующая алгоритмы машинного обучения для прогнозирования. Компьютерное моделирование подтвердило её высокую эффективность и пригодность для использования в условиях промышленного города. Предложенная система способна стать ключевым элементом «умного города», обеспечивая экологическую безопасность и устойчивое развитие.

Список литературы

1. Иванов И.И. Экологический мониторинг промышленных территорий. М.: Наука, 2025. 180 с.
2. Петров А.А. Технологии Big Data в экологическом контроле. СПб.: Питер, 2024. 210 с.
3. Сидоров В.В. Математическое моделирование экологических систем. М.: Инфра-М, 2025. 160 с.
4. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2025. Vol. 13. № 2. pp. 123-145.
5. Smith J., Johnson K. Big Data Applications in Environmental Monitoring. Springer, 2024.
6. Зарипова Л.Р., Шакирова А.И. Оценка пожарной безопасности районов г. Казани с использованием метода анализа иерархий // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Сб. научных трудов по материалам Всероссийской научно-практ. конф., Ставрополь, 22–23 мая 2025 года. Ставрополь: «АГРУС» Ставропольского государственного аграрного университета, 2025. С. 50–54.
7. Арефьева Е.В., Болгов М.В., Муравьева Е.В. и др. Оценка рисков чрезвычайных ситуаций при затоплении территорий в условиях изменения климата. Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. 132 с.

УДК 621.9.079:628.349.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Соколов Л. И.¹, Воропай Л. М.², Смирнова И. М.¹

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе», г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), используемые при механической обработке металлов, являются многокомпонентными смесями, в состав которых входят органические и неорганические вещества. В промышленности находят широкое применение азот- и углеродсодержащие масляные, синтетические, полусинтетические СОЖ, эмульсолы [1]. Соединения азота и углерода, входящие в состав СОЖ служат питательной средой для бактерий, дрожжей и грибов, вызывая биологическое поражение. Окислительно-восстановительные процессы, протекающие при этом, сопровождаются изменением химического состава, эксплуатационных характеристик и сокращением сроков стабилизации и эксплуатации эмульсий. Признаками биопоражения является расслоение эмульсии, появление гнилостного запаха, образование осадка, изменение цвета, значение рН среды и увеличение коррозионной активности. При этом эмульсии утрачивают функции ингибиторов коррозии и становятся коррозионно-активными веществами, вызывающими коррозию металлов после их обработки [2].

Для предотвращения биологического поражения смазочно-охлаждающих жидкостей в промышленности используют физические, химические и механические методы. К физическим методам относятся ультрафиолетовая

(УФ), электромагнитная и ультразвуковая (УЗ) обработки, ионное облучение. термопастеризация. Химические методы включают биоцидную обработку; механические – принудительную циркуляцию, фильтрование, центрифугирование, удаление инородного масла и пены [3].

Однако, каждый из этих методов имеет преимущества и недостатки. Результаты их использования в производствах доказывают, что ни один из них не обеспечивает полную комплексную обработку СОЖ и ее стабилизацию от действия бактерий, грибов и дрожжей.

В связи с этим поставлена цель, разработать новый комплексный стабилизационный способ обработки СОЖ от разных видов биологического поражения (бактериальное, грибковое, дрожжевое), основанный на синергизме действия энергетических эффектов ультрафиолетового облучения и низкочастотного ультразвука. За счет синергизма УЗО и УФ облучения происходит стабилизация обработанных жидкостей, которая сопровождается уменьшением их коррозионной активности и увеличением стойкости к действию разных факторов агрессивной среды.

Для достижения цели решаются задачи:

1) определить степень стабилизации исходной необработанной СОЖ, которую используют в технологических циклах механической обработки шарикоподшипников;

2) исследовать в лабораторных и производственных условиях технологические условия антибактериальной обработки охлаждающей жидкости: время комплексной УЗ и УФ обработки, объем СОЖ, скорость циркуляции обрабатываемой СОЖ;

3) проанализировать результаты исследования и сделать вывод о степени синергетического эффекта стабилизации охлаждающей жидкости при обработке УЗ и УФ.

Объект исследования – экспериментальное определение в лабораторных и производственных условиях технологических параметров обработки СОЖ УЗ и УФ. Предмет исследования – определение влияния эффективности синергизма действия ультрафиолетовой и ультразвуковой обработки на степень антисептирования эмульсии и увеличение сроков их эксплуатации. При выполнении эксперимента определения степени и видов биопоражения СОЖ использовали химический метод и метод биотестирования с помощью экспресс-тестов.

Эксперимент проводят на базе ООО «Новотех-ЭКО», г. Вологда, ЗАО «Вологодский подшипниковый завод» (цех № 1), лаборатории кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет». В цехе ЗАО «ВПЗ» была смонтирована в технологическую линию для металлообработки шарикоподшипников комплексная установка обеззараживания смазочно-охлаждающих жидкостей модели ЕСО-2А61050US, разработанная сконструированная коллективом предприятия «Новотех-ЭКО». При ее проектировании использовали результаты лабораторных исследований определения влияния низкочастотного ультразвука, УФ облучения на изменение механизмов протекания физико-химических процессов в жидких средах,

включая СОЖ, и вызывающих процессы их стабилизации к действию окислителей, температуры и факторов биологического поражения. Для активации процессов обеззараживания СОЖ в установку вмонтированы две ультразвуковые лампы и УЗО излучатель (УЗИ 106), обеспечивающий частоту ультразвуковых колебаний 39,3 кГц. Рабочий объем камеры обеззараживания 12 л, скорость циркуляции 10 м³/час.

Выполненный информационный поиск свидетельствует, что в отдельности УЗ и УФ способы обработки разных видов жидких сред находят широкое применение для их обеззараживания. Доказано, что УЗ инициирует физико-химические эффекты, увеличивает скорость протекания все массообменных процессов, которые вызывает изменение эксплуатационных характеристик, обрабатываемых СОЖ. Это физические процессы диспергирования, растворения, кристаллизации, дегазации, коагуляции, эмульгирования, очистки, пеногашения.

Для антисептической обработки прозрачных жидких сред и воздуха в промышленности также используют УФ-облучение. Эффективность этого способа бактерицидной обработки зависит от прозрачности и светопропускания обрабатываемых сред и в основном используется для обработки прозрачных сред. Охлаждающие жидкости – системы, состоящие из нескольких фаз и имеющие низкий коэффициент светопропускания. Поэтому доказано, что антисептическая обработка СОЖ только УФ-облучением без дополнительных энергетических эффектов, вызывающих увеличение прозрачности среды и коэффициента светопропускания, является неэффективной и не может использоваться.

В связи с этим был разработан комплексный способ антисептической обработки СОЖ, основанный на синергизме УЗ- и УФ-эффектов. За счет ультразвука происходит интенсивное перемешивание жидкости. Кавитация также обеспечивает образование в эмульсии пузырьков воздуха, способствующих образованию «пустоты» между молекулами жидкости и масел, вследствие чего увеличивается светопропускание [5].

Изменение суммарной энергии озвучиваемой среды вызывает также изменение энергии активации обменных и окислительно-восстановительных процессов, характер среды, концентрации компонентов СОЖ, которые являются питательной средой для микроорганизмов, а также механических поражений [5]. Однако, результаты доказывают, что эффективность антибактериального действия УЗ зависит от многих показателей, включая вязкость, плотность жидкостей. С увеличением этих характеристик снижается эффективность кавитационных процессов и при этом уменьшается степень стабилизации СОЖ к микробиологическому поражению. С учетом этих показателей сконструированы новые типы УЗ реакторов технологические параметры, которых определяют экспериментальным путем по значениям областей ближнего поля, отраженного поля, дальнего поля и характеристик эмульсий. Производительность реактора 10 л/мин.

Определение эффективности комплексной антисептической обработки охлаждающей жидкости проходили в производственных условиях.

Охлаждающая жидкость из распределительного бака для бактерицидной обработки поступает в комплексную установку модели ЕСО-2А61050US для ультрафиолетовой и ультразвуковой обработки жидких сред. Суммарный объем циркулирующей обрабатываемой СОЖ – 5 м³, скорость циркуляции жидкости – 10 м³/час. При определении эффективности антисептической обработки действия УЗ и УФ используют химический и индикаторный методы анализа.

Анализ информационных источников свидетельствует, что типовая биоиндикация с помощью индикатора трифенилтетразолиум хлорид (ТТХ) является неточной, так как интенсивность окраски ТТХ, по которой определяют степень биопоражения зависит не только от продуктов жизнедеятельности бактерий, грибов и дрожжей, но и от действия УФ-излучения. При действии солнечными лучами на обработанные жидкости также происходит интенсивное окрашивание жидкости в красный цвет без присутствия микрофлоры, что необходимо учитывать при выполнении эксперимента. Поэтому необходимо соблюдать жесткие требования к условиям выполнения анализа: исключить действие солнечного света на исследуемые образцы, поддерживать оптимальную температуру инкубации от 28 до 35 °С при времени биоиндикации 24 часа.

Согласно методике, отбирают для исследования СОЖ, добавляют 1 мл ТТХ, термостатируют при температурах 25–35 °С в течение 24 часов и интенсивности окраски по шкале определяют степень биопоражения СОЖ в баллах (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Степень микробиологического поражения СОЖ

Количество бактерий, клеток/мл	Балл	Характер и интенсивность окрашивания эмульсии с ТТХ, степень микробиологического поражения
0	0	Цвет эмульсии не изменяется
До 10000	1	Незначительное окрашивание в виде пятен или кольца
от 10000 до 100000	2	Ярко-красная окраска в виде пятна на дне пробирки
От 100000 до 100000000	3	Розовая окраска эмульсии в пробирке
Более 100000000	4	Ярко-красная окраска все эмульсии в пробирке

По результатам биотестирования СОЖ определяют также условия дальнейшего применения СОЖ или разрабатывают технологию стабилизации отработанных СОЖ.

Значение баллов 0-1 доказывает сохранение эксплуатационных характеристик СОЖ и возможности ее эксплуатации. Баллы 2-3 – доказывают биологическое поражение жидкости и необходимость антисептической обработки. Эмульсия полностью поражена, подлежит полной замене или антисептической обработке современными эффективными способами, если степень биопоражения равна 4 баллам.

Наиболее простым и точным методом определения степени биологического поражения СОЖ является метод биоконтроля с помощью экспресс-тестов

«Биоконтроль», который позволяет определить также вид поражения простейшими организмами – бактериями, грибами и дрожжами. При определении пользуются тремя разработанными шкалами уровня поражения СОЖ.

Эксперимент проводят в два этапа. На первом этапе исследования определяют степень биопоражения и стабилизации необработанной СОЖ. На втором этапе подбирают технологические условия обработки СОЖ и также определяют степени биопоражения и стабилизации СОЖ.

На первом этапе определяют степень стабилизации свежеприготовленного раствора охлаждающей жидкости концентрации 4–5 % в течение 10 суток. В состав жидкости входят минеральные масла, эмульгатор, ингибитор коррозии, бактерицидная присадка. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение степеней биопоражения необработанной УФ и УЗ эмульсии, образец № 1

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
0	0	0	0	0	0
0	1	0	10 ³ , значительный	0	10 ² , очень низкий
0	2	0	10 ⁴ , умеренный	0	10 ² , очень низкий
0	3	0	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	4	2	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	5	2	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	6	2	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	7	2	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	8	3	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*
0	10	4	10 ⁴ , умеренный	10 ³ , высокий	*

Примечание: * культивирование грибов и дрожжей проводится совместно на одной и той же питательной среде; из-за высокой степени поражения грибами не определяется точное значение уровня дрожжевого загрязнения.

Результаты определения степени биопоражения, полученные двумя методами в лабораторных условиях, свидетельствует, что степень биопоражения необработанной в день отбора пробы составляет 0 баллов. Через сутки после термостатирования при температурах от 25 до 35 °С появляются признаки бактериального и дрожжевого биопоражения: бактериальное поражение по показателям КОЕ/см² – 10³, уровень незначительный, дрожжевое поражение – 10², уровень очень низкий. При дальнейшем увеличении времени биостабилизации до 10 суток без эксплуатации увеличиваются значения степеней всех видов биопоражений до максимальных значений.

Результаты показывают, что скорость поражения грибами необработанных СОЖ более высокая в сравнении со скоростью поражения дрожжами и бактериями. Через 72 часа биоиндикации значение КОЕ/см² для

грибов достигает максимального значения и составляет – 10^3 , что соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом максимальное время стабилизации необработанной СОЖ составляет всего трое суток. При дальнейшем увеличении времени нахождения СОЖ в условиях цеха при температуре 10-15 °С степень биопоражения бактериями, грибами и дрожжами возрастает и изменяются ее эксплуатационные характеристики.

На втором этапе исследования определяют технологические условия комплексной обработки СОЖ по изменению уровня биопоражения и времени стабилизации.

Образцы СОЖ с максимальной степенью поражения 4 балла, подвергают обработке УЗ и УФ в новой установке, вмонтированной в цехе. Пропускают СОЖ со скоростью циркуляции 10 м³/час. Обрабатывают эмульсии в течение 24, 48, 72, 96, 120 часов. Через каждые 24 часа тестируют пробы СОЖ на степень биопоражения после термостатирования.

Результаты эксперимента представлены в таблице 3. Общее количество обработанных проб – 11, время комплексной обработки представлено в таблицах в часах, время биоиндикации и термостатирования для развития микрофлоры дано в таблицах в сутках.

Таблица 3 – Изменение степеней биопоражения, образец № 2

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
24	0	0	0	0	10 ² , очень низкий
24	1	0	10 ² , очень низкий	0	10 ² , очень низкий
24	2	0	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	3	1	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	4	1	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	5	1	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	6	1	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	7	3	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	9	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
24	15	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий

Результаты эксперимента свидетельствуют, что через 24 часа комплексной обработки СОЖ ультразвуком и ультрафиолетом происходит ее стабилизация, при этом уменьшается уровень биопоражения СОЖ с 4 баллов (исходная СОЖ) до 0 баллов. Однако, на вторые сутки происходит снова увеличение степени биопоражения.

Максимальная степень биопоражения определяется на 7 сутки биоиндикации и составляет 3 балла. На 9 сутки этот показатель достигает максимального значения – 4 балла.

Одновременно определяют эффективность действия УЗ и УФ обработки

на разные виды микроорганизмов – бактерии, грибы, дрожжи. Бактериальная степень биопоражения, определяемая экспресс методом через 24 часа биоиндикации, оценивается как очень низкий уровень и КОЕ/см² равно 10². При дальнейшем увеличении времени биоиндикации от двух до пятнадцати суток уровень бактериальной степени поражения незначительный, КОЕ/см² составляет 10³. При оценке степени загрязнения дрожжами установлено, что максимальное значение КОЕ/см² составляет 10²; что соответствует очень низкому уровню загрязнения. Грибковое поражение в исследуемой пробе после комплексной обработки не определяется.

Таким образом, результаты эксперимента доказывают, что комплексная обработка СОЖ в течение 24 часов вызывает лишь частичное уменьшение уровней загрязнения бактериями, дрожжами и грибами и способствует незначительной стабилизации охлаждающей жидкости.

В таблице 4 представлены результаты биотестирования образца № 3 СОЖ после 48 часов комплексной обработки при времени биоиндикации 49 суток.

Таблица 4 – Изменение степеней биопоражения, образец № 3

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
48	0	0	0	0	0
48	1	0	0	0	0
48	2	1	0	0	0
48	3	1	0	0	0
48	4	1	0	0	0
48	5	1	0	0	0
48	6	3	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
48	7	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
48	9	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
48	14	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
48	49	4	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий

Результаты свидетельствуют, что при 48 часовой комплексной УЗ и УФ обработке СОЖ увеличивается эффективность синергизма действий всех энергетических эффектов. При антисептической обработке возрастает степень стабилизации обработанных проб, увеличивается срок их эксплуатации.

Определяемый химическим методом уровень биопоражения СОЖ показывает, что максимальная степень загрязнения после термостатирования составляет 4 балла на седьмые сутки биоиндикации.

Бактериальное, грибковое, дрожжевое уровни загрязнения, определяемые экспресс методом в течение первых пяти суток биоиндикации, равны 0.

Максимальное значение уровня бактериального поражения, определяемое на шестые сутки биоиндикации незначительное; КОЕ/см² – 10³. Этот показатель не изменяется при дальнейшем увеличении времени биоиндикации до 49 суток. Значения уровней грибкового и дрожжевого поражения в течение первых пяти суток равны 0.

Таким образом, время комплексной обработки СОЖ в течение 48 часов увеличивает стабилизацию эмульсии за счет погашения бактерий, грибов, дрожжей.

В таблице 5 представлены результаты биотестирования образца №4 СОЖ после 72 часовой комплексной обработки, время биоиндикации – 48 часов.

Результаты показывают, что при увеличении времени обработки эмульсии до 72 часов признаки поражения СОЖ определяются на 4 сутки. Бактериальное биопоражение незначительное: КОЕ/см² – 10³; уровень дрожжевого загрязнения очень низкий: грибковое поражение не определяется. Эти показатели не изменяются течение 48 суток биоиндикации и доказывают стабилизирующий эффект синергизма действия УФ и УЗ обработки.

Таблица 5 – Изменение степеней биопоражения, образец № 4

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
72	0	0	0	0	0
72	1	0	0	0	0
72	2	0	0	0	0
72	3	0	0	0	0
72	4	1	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
72	5	1-2	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
72	7	3	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
72	12	3	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий
72	48	3	10 ³ , незначительный	0	10 ² , очень низкий

В таблице 6 приведены результаты исследования эффективности комплексной обработки масляных СОЖ УЗ и УФ в течение 96 часов, время биоиндикации 47 суток.

Анализ результатов комплексной обработки СОЖ доказывает высокую эффективность синергизма влияния энергетических эффектов УЗ0 и УФ на степень бактерицидной обработки охлаждающих жидкостей. С увеличением времени обработки до 96 часов возрастает эффективность очистки от разных видов бактериального поражения СОЖ и увеличивается срок их эксплуатации.

Уровни дрожжевого и бактериального поражения не изменяются в течение 43 суток и соответствуют высокой степени стабилизации.

Таблица 6 – Изменение степеней биопоражения, образец № 5

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
96	0	0	0	0	0
96	1	0	0	0	0
96	2	0	0	0	0
96	3	0	0	0	0
96	4	1-2	10 ² , очень низкий	0	10 ² , очень низкий
96	5	2	10 ² , очень низкий	0	10 ² , очень низкий
96	12	3	10 ² , очень низкий	0	10 ² , очень низкий
96	47	3	10 ² , очень низкий	0	10 ² , очень низкий

На последнем этапе исследования определяли степень биопоражения СОЖ образца № 6 после 120 часов комплексной обработки. Степень стабилизации СОЖ определяли в течение 45 суток после обработки. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Изменение степеней биопоражения, образец № 6

Время комплексной обработки СОЖ, час	Время биоиндикации в лаборатории, сутки	Определение степени биопоражения			
		Химический метод с раствором ТТХ	Экспресс-тесты		
			Бактерии, КОЕ/см ²	Грибы, КОЕ/см ²	Дрожжи, КОЕ/см ²
120	0	0	0	0	0
120	1	1	0	0	0
120	2	1	0	0	0
120	3	1	0	0	0
120	4	2	0	0	0
120	45	2	0	0	0

Результаты показывают, что время стерилизации 120 часов обеспечивает высокую эффективность антисептической обработки, которая сохраняется в течение 45 суток. Максимальная степень биопоражения, определяемая химическим методом, составляет 1-2 балла, определяемая индикаторным методом – 0 баллов. При дальнейшем увеличении времени биоиндикации до 3 месяцев сохраняется высокая степень стабилизации. Уровни дрожжевого, грибкового и бактериального поражения составляют 0 баллов через три месяца после обработки.

На основании анализа результатов можно сделать следующие выводы:

1) комплексная УЗ и УФ обработка жидкостей обеспечивает их антибактериальную обработку, увеличивает срок их эксплуатации;

2) высокая степень стабилизации СОЖ после комплексной обработки объясняется синергизмом действия ультразвука и ультрафиолета. За счет кавитационных эффектов и возникающих в жидких средах газовых пузырьков

увеличивается значение коэффициента светопропускания УФ излучения, что способствует увеличению эффективности стабилизации;

3) установленное оптимальное время комплексной обработки СОЖ от 48 до 72 часов обеспечивает снижение уровней всех видов биопоражения;

4) внедрение в производственный цикл нового комплексного способа антисептической обработки СОЖ обеспечивает увеличение срока их эксплуатации без других видов стабилизации.

Следует отметить, что новый способ стабилизации жидкости может быть использован не только для СОЖ, но и для других эмульсий гетерогенных жидких сред с низким коэффициентом светопропускания и высоким значением вязкости.

Список литературы

1. Давыдова О.А., Левакова О.В, Бузаева М.В и др. Обеззараживание смазочно-охлаждающих жидкостей от биологического поражения техническими средствами// Журнал технологии нефти и газа, 2010. № 4(69). С. 45–47.

2. Хмелев В.Н., Леонов Г.В., Барсуков Р.В. и др. Ультразвуковые multifunctional и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во АГТУ, 2007. 400 с.

3. Хмелев В.Н. и др. Измерение параметров технологических сред, подвергаемых воздействию ультразвуковых колебаний высокой интенсивности // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник / под ред. Г.В.Леонова. Бийск, 2001. С. 262–267.

4. Хмелев В.Н. и др. Развитие ультразвуковых технологий, разработка исследование multifunctional и специализированных ультразвуковых аппаратов // Ползуновский альманах, 2000. № 3. С. 193–200.

5. Хмелев В.Н. и др. Развитие научных основ повышения эффективности ультразвуковых технологий, разработка и организация производства ультразвуковых аппаратов для удовлетворения потребностей производств, медицинских учреждений и сельского хозяйства // Альманах «Бийский вестник». Барнаул: АлГТУ, 2004. № 4. С. 49–62.

6. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н. Исследование и разработка полуволновых пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем // Ползуновский вестник, 2006. № 2-2. С. 170–176.

7. Хмелев В.Н. и др. Ультразвуковые технологии – повышение эффективности производства (Текот) / Специализированный журнал для технических специалистов «Оборудование. Регион», 2005. №5(13). С. 29–33.

8. Шалунов А.В. Исследование процесса и разработка аппаратов ультразвукового диспергирования жидкостей: дисс. к.т.н.: 05.17.08. Бийск, 2006. 159 с.

9. Носков Н.С., Звидкин А.С. Расчет концентраторов ультразвуковых колебаний // Акустический журнал, 1963. № 5. С. 8–15.

10. Акуличев В.А. Пульсация кавитационных полостей. Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л.Д.Розенберга М.: Наука, 1970. С. 126-167.

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ «ЦИРКУЛЯРНЫХ» ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ

Хохлова Л. И., Вельковская М. И., Мухин В. В.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Введение

Современная модель городского развития, основанная на линейной экономике, исчерпала свой ресурсный потенциал. Строительная отрасль потребляет около 35 % добываемых в мире сырьевых материалов, а отходы строительства и сноса составляют до 30 % всех твёрдых отходов в мире [1]. В России ежегодно образуется более 70 млн тонн строительных отходов, при этом уровень их переработки не превышает 10–15 %, что создаёт значительную нагрузку на полигоны и окружающую среду [2].

Циркулярная экономика предполагает регенеративную систему, в которой материалы сохраняют свою ценность и полезность максимально долго; она рассматривается как одно из ключевых решений проблемы загрязнения окружающей среды, применимое на трёх уровнях: операционном (процессы производства), тактическом (взаимосвязь процессов) и стратегическом (уровень организации или территории) [3].

Особенность строительной отрасли заключается в долгом жизненном цикле объектов и фрагментированности цепочек поставок, что затрудняет отслеживание происхождения материалов и их повторное использование [4]. Поэтому для реализации циркулярной модели необходим комплексный подход, охватывающий не только технические решения, но и пространственную организацию, а также механизмы управления.

Цель статьи – систематизировать архитектурно-пространственные принципы формирования жилых кварталов как базовых ячеек циркулярной городской экономики, а также определить возможности и ограничения их применения в условиях России и стран СНГ.

Методологическую базу исследования составляют несколько ключевых концепций, сформировавшихся в конце XX – начале XXI века.

Во-первых, авторы исследования [5] вводят понятие «от колыбели до колыбели», согласно которой отходы должны становиться питательной средой для новых циклов – биологических (возвращаемых в природу) или технических (сохраняемых в промышленном обороте). Данная концепция отрицает понятие отходов как таковых, предлагая рассматривать все продукты как ресурсы для будущих циклов.

Во-вторых, исследование [6] сформировало иерархию элементов с разным сроком службы – «шести слоев» здания:

- участок – вечный;
- каркас – 30-300 лет;
- оболочка/фасад – 20-40 лет;
- инженерные системы – 7-15 лет;

- внутренняя планировка – 3-30 лет;
- мебель и оборудование – ежегодно.

Эта иерархия демонстрирует, что элементы здания должны быть спроектированы так, чтобы их можно было заменять с разной периодичностью, не нарушая целостности остальных.

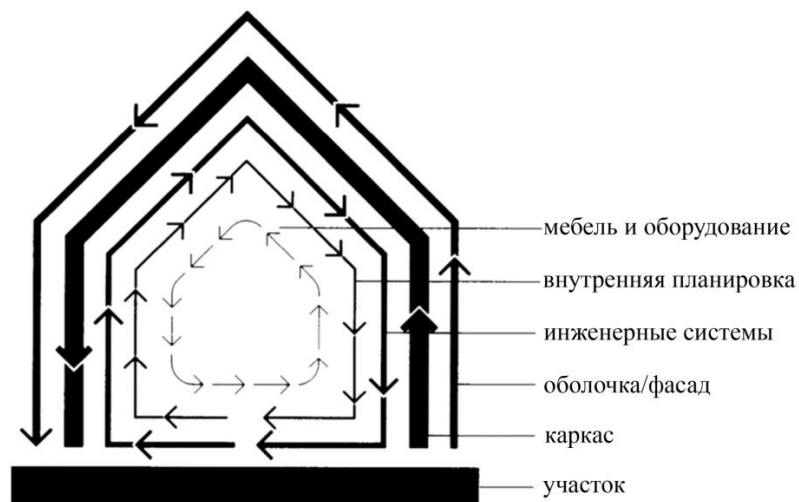


Рис. 1. Иерархия слоёв дома по сроку службы [6]

В-третьих, концепция «зданий как материальных банков» [7] предполагает, что здания следует рассматривать как хранилища ценных материалов, информация о которых должна быть доступна для будущего использования.

В-четвёртых, теория городского метаболизма [8] рассматривает город как живой организм с входящими (энергия, вода, материалы) и исходящими (отходы, выбросы) потоками, управление которыми может быть оптимизировано.

Систематизировав изученные исследования, можно выделить следующие главные архитектурно-пространственные принципы циркулярного квартала.

Принцип пространственной предопределенности циклов

Планировочная структура квартала должна изначально проектироваться с учётом движения ресурсных потоков. Исследование [9] показывает, что пространственное планирование является ключевым фактором эффективности циркулярной экономики на уровне города, и ключевыми решениями являются: инфраструктурные хабы, подземная логистика и водная инфраструктура как структурообразующий элемент.

То есть, в структуре квартала необходимо учесть размещение пунктов сбора и сортировки вторсырья, мастерских повторного использования, локальных энергоузлов и станций компостирования органики. Такие объекты должны быть доступны как для жителей, так и для обслуживающего транспорта, но при этом изолированы от жилых зон для обеспечения комфортной среды [10]. Применение вакуумных систем сбора отходов, соединяющих все здания с сортировочным центром, позволяет исключить необходимость в мусоровозах на внутриквартальных территориях. Опыт [11] демонстрирует, что такие системы

снижают транспортную нагрузку на 80 % и повышают долю отдельно собираемых отходов до 70 %. Интеграция систем сбора и очистки ливневых и серых вод в ландшафтный дизайн позволяет не только экономить водные ресурсы, но и создавать комфортную микроклиматическую среду [12].

Принцип модульности и демонтируемости

Исследование [13] подтверждает, что применение принципов модульности и демонтируемости позволяет оптимизировать процессы демонтажа, способствует рециклингу материалов и снижает воздействие на окружающую среду – данная система позволяет проектировать здания как «конструкторы», формируя каркас для технической циркулярности.

Т.о, формируется иерархия слоев: происходит разделение несущего каркаса и сменяемых элементов (фасадов, перегородок, инженерии) с использованием разъемных соединений вместо неразъемных. В исследовании [14] разработали классификацию степеней трансформируемости зданий, основанную на типах соединений. Применение унифицированных модулей и стандартных размеров позволит облегчить будущую замену и повторное использование элементов в других проектах. Авторы [15, 16] предлагают конкретные архитектурно-конструктивные приёмы: использование модульных сеток, ограничение количества типов соединений, доступность узлов для демонтажа.

Принцип материальной паспортизации

Чтобы структурировать информацию об используемых материалах и об их перспективном повторном применении, необходимо внедрить материальный паспорт – инструмент, который архивирует детальную информацию о материалах, способствуя их повторному использованию и переработке [17]. Исследование показывает, что наличие таких паспортов повышает экономическую эффективность демонтажа на 25–30 %. Для этого каждому конструктивному элементу присваивается уникальный идентификатор (QR-код/RFID-метка) с данными: тип материала, масса, происхождение, несущая способность, инструкция по демонтажу, возможность повторного использования.

Данные можно интегрировать в BIM-модель квартала для учёта перспективы строительных материалов и проведения полноценного предпроектного анализа, что подтверждается исследованием [18].

Помимо этого, существует теория динамических материальных паспортов, которые непрерывно обновляются на протяжении жизненного цикла здания благодаря интеграции с технологиями цифровых двойников и IoT-датчиков [19], однако данная технология требует больших затрат.

Принцип интеграции с природными циклами

Стоит предусмотреть, что квартал может не только снижать нагрузку на природу, но и становиться частью экосистемы, участвуя в биогеохимических циклах. Использование природоподобных технологий способствует формированию устойчивого городского метаболизма и повышает качество городской среды [20]. Данный принцип можно реализовать с помощью внедрения зелёных крыш и фасадов. Подобные системы снижают эффект

«теплового острова» на 2–3 °С, задерживают до 60 % ливневых стоков и создают среду обитания для городского биоразнообразия [21].

Можно предусмотреть внедрение систем фиторемедиации (технология очистки окружающей среды с помощью растений и микроорганизмов – основана на способности растений поглощать загрязняющие вещества, включая тяжёлые металлы, органические соединения и избыточные питательные вещества) и биоплато для очистки сточных и ливневых вод с помощью растений, интегрированных в общественные пространства для достижения пригодной для технического использования качества воды без применения химических реагентов [21]. Касательно пищевых и зелёных отходов, возможен вариант их переработки в компост для удобрения внутриквартальных зелёных насаждений для замыкания цикла органических веществ и сокращения потребности в удобрениях.

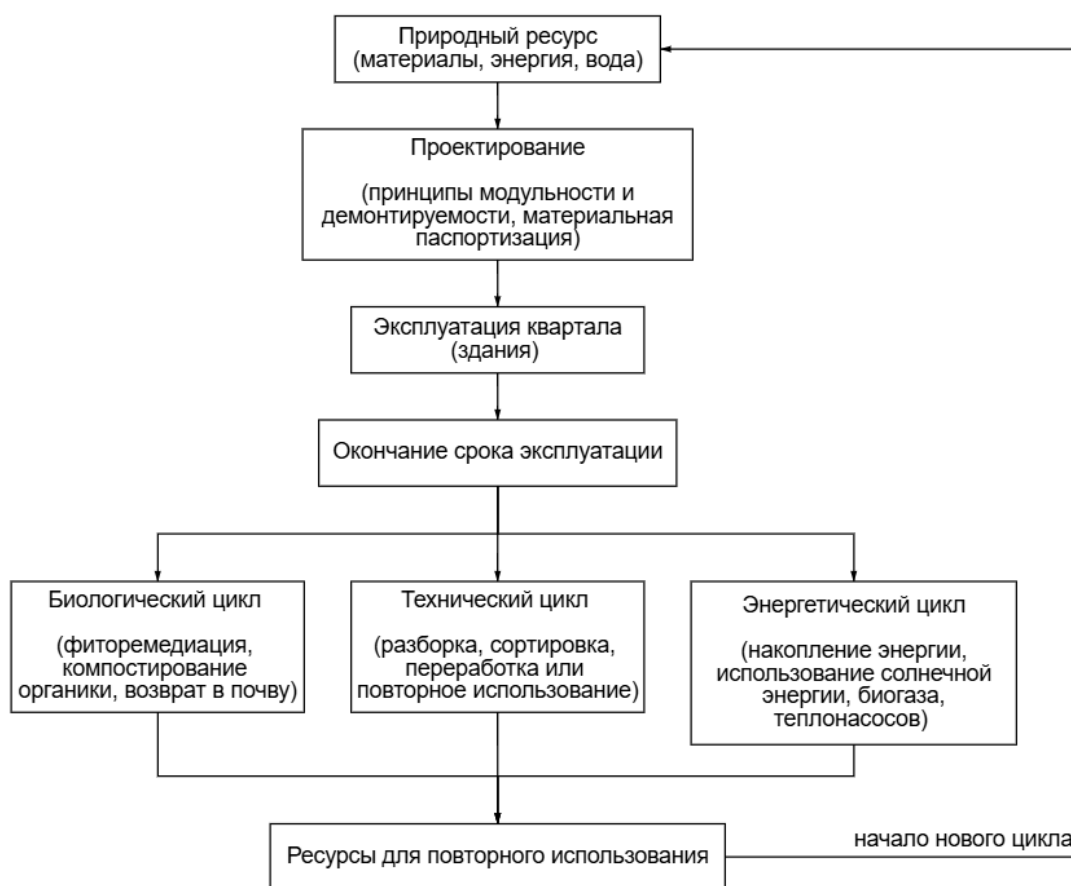


Рисунок 2 – Цикл использования первичных материалов (составлено авторами)

Архитектурно-планировочные ценности смогут комплексно функционировать при условии внедрения эффективной системы управления ресурсными потоками, основанной на цифровой версии квартала и утверждённых нормативно-правовых документах.

Исследование [22] подчеркивает необходимость цифровых платформ для управления информацией о материалах. Интеграция технологий Интернета вещей и искусственного интеллекта позволяет создавать системы, которые в реальном времени отслеживают состояние материалов и оборудования. Такая

платформа может выполнять следующие функции:

- а) мониторинг заполнения контейнеров и оптимизация логистики отходов;
- б) управление энергопотреблением и работой инженерных систем;
- в) координация работы сервисов и ремонтных мастерских;
- г) ведение учёта материальных паспортов и их актуализация и т.п.

Успешная реализация принципов циркулярности возможна лишь при поддержке нормативно-правовой базы [16]. Это требует внесения изменений в правила землепользования и застройки (ПЗЗ), обязывающих застройщиков предусматривать инфраструктуру для раздельного сбора и переработки отходов. Также требуется введение требований к доле вторичных материалов в строительстве, что является новой технологией для России. Уже есть исследования, подтверждающие потенциал цикличного использования материалов, например, исследование [23] подтверждает эффективность использования вторичного щебня из бетонного лома: прочность таких материалов составляет 80–95 % от первичных при снижении стоимости на 30–40 %. Необходимо провести комплексный анализ актуальных исследований для того, чтобы увидеть и оценить целую ситуацию. Это в том числе поможет в разработке стандартов для «циркулярных» зданий и методов оценки их ресурсной эффективности.



Рисунок 3 – Взаимосвязь предложенных решений (составлено авторами)

Заключение

Таким образом, формирование «циркулярных» жилых кварталов представляет собой комплексную задачу, требующую интеграции

архитектурного проектирования, строительных технологий и управленческих решений. Проведённый анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Циркулярный квартал – это целостная система, где пространство, конструкции и управление объединяются [3]. Принципы пространственной предопределенности, модульности, материальной паспортизации и биопозитивности должны применяться комплексно, на всех этапах жизненного цикла – от концепции до эксплуатации и возможной трансформации.

2. Переход к циркулярной экономике невозможен без создания систем учета и управления информацией о материалах на всех этапах жизненного цикла, материальные паспорта и BIM-модели являются необходимыми инструментами [17, 18, 19].

3. Использование вторичных материалов и модульных конструкций не только снижает нагрузку на окружающую среду, но и может быть экономически выгодным за счет сокращения затрат на утилизацию и закупку первичных ресурсов [11, 23].

Основными препятствиями для России и стран СНГ являются: консервативность существующей нормативной базы, ориентированной на линейную модель; отсутствие развитого рынка вторичных строительных материалов; дефицит квалифицированных кадров, владеющих современными методами проектирования и управления [2].

Пилотные проекты, реализуемые в рамках программ реновации жилого фонда (например, в Москве) или нового строительства (комплексное развитие территорий) в том числе в регионах, могли бы стать полигонами для отработки технических и нормативных решений. Целесообразно создание «регуляторных песочниц» для апробации циркулярных принципов в отдельных кварталах с последующим тиражированием успешного опыта.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на:

- разработку адаптированных к местным условиям методологий материальных паспортов с учётом российской системы стандартизации;
- исследование возможностей применения цифровых двойников для управления ресурсными потоками на уровне кварталов;
- совершенствование нормативно-правовой базы для стимулирования циркулярных принципов в строительстве, включая экономические механизмы (налоговые льготы, субсидии).

Список литературы

1. United Nations Environment Programme. 2023 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi: UNEP, 2023. 120 p.
2. Проблемы и перспективы правового регулирования обращения со строительными отходами в Российской Федерации // Хозяйство и право, 2025. № 7. С. 98–108.
3. Григорьева Н.А. Принципы циркулярной экономики при управлении проектами в строительстве // Социально-экономическое управление: теория и практика, 2022. № 18(4). С. 5–12.
4. Pomponi F., Moncaster A. Circular economy for the built environment: A research framework // Journal of Cleaner Production, 2017. Vol. 143. pp. 710–718.
5. McDonough W., Braungart M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things.

New York: North Point Press, 2002. 193 p.

6. Brand S. How Buildings Learn: What Happens After They're Built. New York: Viking Press, 1994. 243 p.

7. Debacker W. et al. BAMB (Buildings As Material Banks) Project: Final Report. Brussels: BAMB Consortium, 2019. 156 p.

8. Kennedy C., Pincetl S., Bunje P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design // *Environmental Pollution*, 2011. Vol. 159, No. 8-9. pp. 1965–1973.

9. Dijkstra A. et al. Spatial Planning for Circular Economy: A Review of European Practices. Luxembourg: ESPON, 2018. 124 p.

10. Girardet H. Creating Sustainable Cities. Totnes: Green Books, 1999. 192 p.

11. Колодяжный С.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий / С.А.Колодяжный, С.Н.Золотухин, А.А.Абраменко и др. // *Вестник МГСУ*, 2019. Т. 14, № 6. С. 699–716.

12. Dunnett N., Clayden A. Rain Gardens: Sustainable Rainwater Management for the Garden and Designed Landscape. Portland: Timber Press, 2007. 188 p.

13. Crowther P. Design for Disassembly: Themes and Principles // *RAIA/BDP Environment Design Guide*, 2005. Vol. 1. pp. 1–8.

14. Durmisevic E. Transformable Building Structures: Design for Disassembly as a Way to Introduce Sustainable Engineering. Delft: Delft University of Technology, 2006. 284 p.

15. Guy B., Ciarimboli N. Design for Disassembly in the Built Environment: A Guide to Closed-Loop Design and Building. Seattle: Penn State University, 2008. 68 p.

16. Манюшис А.Ю. Управление устойчивым развитием крупного города, региона. Проблемы и пути трансформации / А.Ю.Манюшис, Н.Ф.Мельниченко, П.И.Бурак. – Москва: Этерна, 2023. 400 с.

17. Honic M., Kovacic I., Rechberger H. Material Passports for the End-of-Life Stage of Buildings: Challenges and Potentials // *Journal of Cleaner Production*, 2019. Vol. 215. pp. 122–132.

18. Kang E. Industrial Facility Regeneration Methodology Using DfD (Design for Disassemble) // *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, 2025. Vol. 34, No. 2. pp. 97–105.

19. Ahmadi L., Bilal M., Olumo A., et al. Enhancing Circularity in the Building Industry: A Review of Material Passports and Digital Twin Technologies // *Journal of Construction Engineering and Management*, 2025. Vol. 152, No. 2. pp. 1–28.

20. Vitrano R.M. Constructing and Cultivating 'The Urban Nature' // *Getting to Zero: Selected Papers from the World Renewable Energy Congress Med Green Forum 2024*. Cham: Springer, 2025. pp. 437–447.

21. Dunnett N., Kingsbury N. Planting Green Roofs and Living Walls. Portland: Timber Press, 2004. 328 p.

22. Weerasinghe L., et al. Review of Material Passports and Their Application in Industrialised Construction: Enhancing Material Circularity in Construction // *Sustainability*, 2025. Vol. 17, No. 12. 5661. pp. 1–28.

23. Гранева А.В., Лушин К.И., Пуляев И.С.и др. Circular economy in recycling concrete and reinforced concrete waste // *Нанотехнологии в строительстве*, 2024. Т. 16, № 1. С. 50–58.

ЭКОЛОГОНЕЗАВИСИМЫЕ ЖИЛЫЕ МОДУЛИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СРЕДЕ

Шибаета Е. Ю., Федотова Е. А., Хохлова Л. И.

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Россия

Современный мир не стоит на месте. Люди открывают что-то новое, изобретают то, чего не могли представить ранее, осваивают новые территории земного шара и даже космическое пространство. С каждым годом мир технологий, строительства, науки развивается все больше и больше. Жизнь за пределами планеты Земля уже не просто чья-то фантазия, это будущая реальность, как и полноценная жизнь в экстремальных условиях, которые можно наблюдать, например, в Арктике, где температура зимой может опускаться ниже минус 60 градусов, или в пустыне Деште-Лут, где рекордная температура составила больше 70 градусов тепла [1].

Экологонезависимые жилые модули строятся в местах, где является невозможным привычное строительство, включающее в себя проведение коммуникаций. Данные территории не рассматриваются как потенциальное место для будущего мегаполиса, люди едут туда по другим причинам, например, для добычи полезных ископаемых или для проведения научных исследований: учёные размещаются в посёлках из автономных модулей и могут исследовать геологию недоступных территорий.

Традиционные подходы к строительству и жизнеобеспечению в таких экстремальных условиях сталкиваются с целым рядом вопросов, которые необходимо решить: экстремально низкие или высокие температуры, логистическая изоляция, чувствительная экология вечной мерзлоты и высокая стоимость строительства на отдалённых участках территорий. Все эти факторы нужно учитывать при проектировании модульных автономных домов, чтобы смягчить или полностью исключить влияние неблагоприятного климата на жизнедеятельность человека. Это решается особыми архитектурно-планировочными средствами. Выгодным решением являются экологонезависимые жилые модули – объекты строительства, которые способны функционировать вдали от инфраструктуры, в тяжёлых климатических условиях и без большого вреда экологии.

Первое, на что нужно обратить внимание при выборе такого типа строительства, это климат, в котором будут строиться модульные дома: насколько там высокие или низкие температуры, какой ветер преобладает, какой тип грунта будет на участке застройки, какой рельеф, какие осадки и в каком количестве могут выпасть.

Также в современном мире необходимо обращать внимание на экологическую составляющую проектов, насколько они полезны и безопасны для окружающей среды. На территории России одна из главных экологических проблем это таяние вечной мерзлоты, если она продолжит таять и человек будет этому содействовать, то неизбежно появится множество других проблем,

которые повлияют и на климат, и на общее здоровье людей, так как потепление вызывает высвобождение метана, который в свою очередь вреден для человека, а также формирует парниковый эффект, что безусловно сказывается на климате, на окружающей инфраструктуре и т.д. [2]. В случае перехода температуры поверхности многолетнемерзлых пород к более высокому градусу инфраструктура и благоустройство населенных пунктов данных территорий будут подвержены разрушению [3]. Такую проблему можно решить как раз с помощью модульных домов, которые будут «отрываться» от рельефа и не нагревать его благодаря свайному фундаменту [4].

Жилой модуль активно используется в современной архитектурно-строительной терминологии и имеет два вектора. Первый относится к объемно-планировочному решению здания, когда в планировке дома применяется определенный «модуль» состоящий из набора помещений, он, повторяясь, образует жилое здание или иные функции. Второй относится к конструктивному, когда здание составляется из ячеек – блок-модулей [5].

Современное строительство данного типа жилья постоянно развивается. Преимущество таких домов лежит в экологичности, энергоэффективности, быстровозводимости и экономии финансовых средств [6].

Модульные дома представляют собой спроектированный жилой модуль с планировкой, который в дальнейшем могут объединить с другими такими блоками (рисунок 1). Такие сооружения собирают на специальных заводах, на территорию застройки их доставляют с помощью специального транспорта, такого как трал, удлиненные фуры, железнодорожный транспорт или даже вертолет, уже почти готовыми, остается только вмонтировать их в землю, и доделать какие-то детали у фасада или внутри планировки [7].

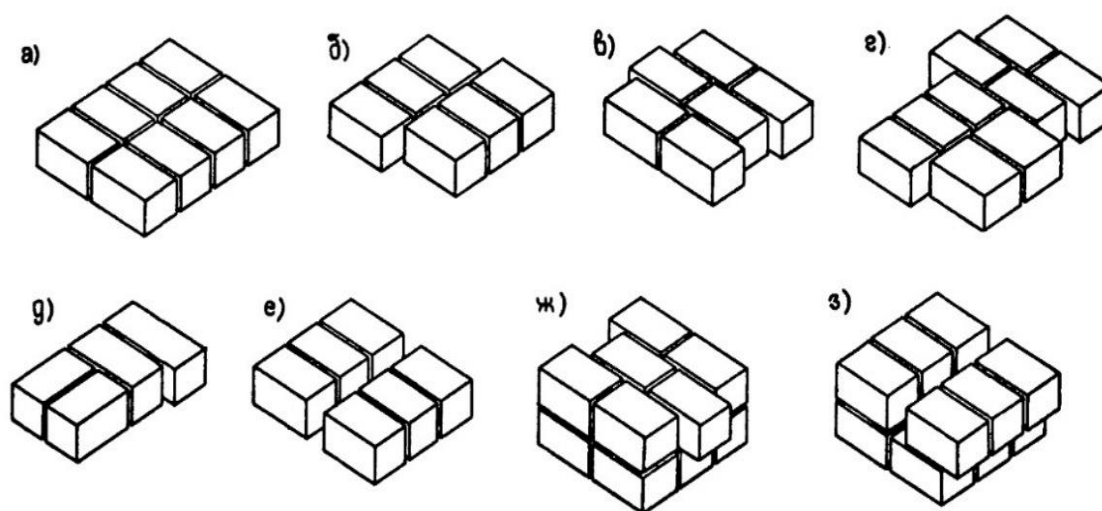


Рисунок 1 – Примеры компоновки блоков в здании:

а – соосное расположение; б – со сдвижкой по продольной оси; в – со сдвижкой по поперечной оси; г – с продольным и поперечным сдвигом; д – с поворотом под прямым углом; е – с раздвижкой для коридора; ж – с выдвижкой из плоскости фасада одного или нескольких блоков для образования эркеров и лоджий; з – с выдвижкой из плоскости фасада ряда блоков для образования галерей, коридоров

Такое строительство экономит и финансы, и время на постройку и не сильно вмешивается в окружающую среду, так как много людей и специальной техники для работы непосредственно на самом участке не нужно.

А что же такое автономные модульные дома? Практически то же самое, что и обычные модули, но при этом это сооружение, одним из главных факторов которого является использование альтернативных возобновляемых энергоресурсов, к которым относят энергию солнца, кинетическую энергию воздушных и водных потоков, геотермальную и аэротермальную энергии. Наиболее важным ресурсом является энергия солнца.

В настоящее время есть множество вариантов самостоятельной выработки энергоресурсов. Прежде всего источником низкопотенциальной тепловой энергии является окружающая среда [8].

Например, солнечные батареи или коллекторы. Такие устройства вырабатывают энергию даже в пасмурные дни, а излишки можно хранить в аккумуляторах [9].

Отдельно следует отметить дома, в которых для улучшения эффективности работы систем сбора солнечной энергии были предусмотрены следующие архитектурно-строительные приёмы, такие как введение коллектора, следящего за солнцем [8].

Успешно развивается малая ветроэнергетика для индивидуальных и коллективных потребителей энергии [10]. Так ветряные турбины, которые способны производить электричество, как для основного питания, так и для резервного, если солнечная энергия недостаточна. Для получения энергии ветра используют ветровую установку, которая обычно располагается на достаточном расстоянии от жилого модуля, так как его работа сопровождается сильным шумом. Она состоит из ветродвигателя и опорной каркасной конструкции. Генератор вырабатывает электричество, которое поступает через силовой кабель в контроллер, установленный в доме.

Следует отметить геотермальные тепловые насосы (рисунок 2), они находятся на глубине 3–4 м, забирают тепло от земли, где температура остаётся стабильной круглый год, и передают его внутрь дома для обогрева. Летом система работает наоборот, выводя излишки тепла из дома в грунт. Таким образом, примерно две трети отопительной энергии получается бесплатно за счёт природы и только одну треть энергии необходимо затратить для работы самого теплового насоса. Благодаря тепловым насосам, затраты на отопление снижаются в 5 раз по сравнению с дизельным или электрическим отоплением [11].

Таким образом, экологонезависимый жилой модуль – это блок для проживания, который может сам обеспечивать себе энергию и тепло, снизить влияние агрессивных климатических условий или полностью их убрать, чтобы проживающему в нем человеку было комфортно находиться в данном помещении. Но автономный жилой модуль это не только генерирование, но и сохранение созданных условий внутри, за это отвечает планировка данного типа жилья, которая имеет свою специфику.

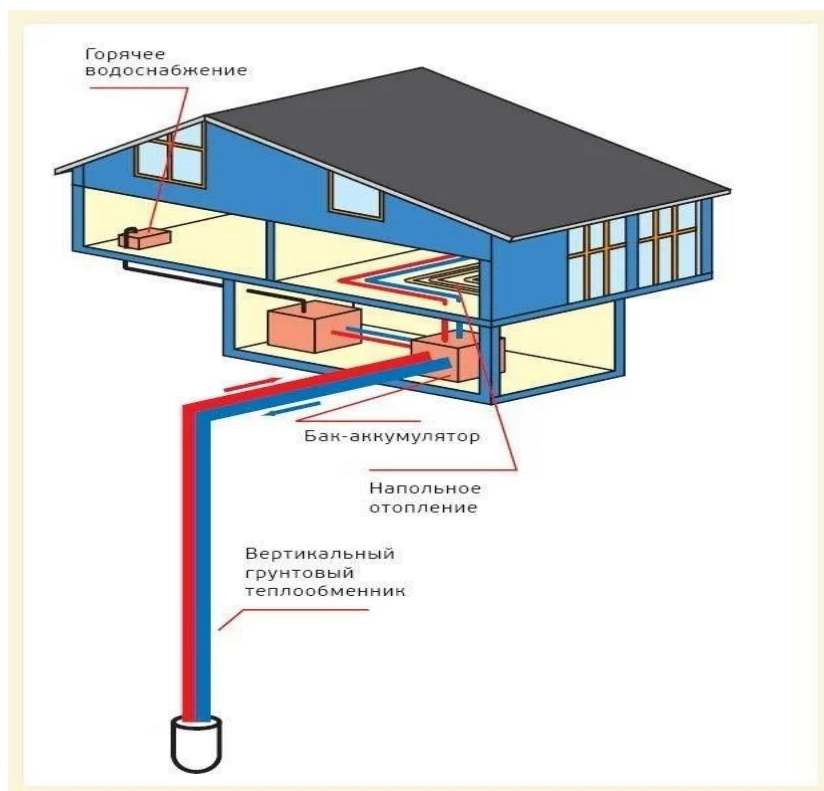


Рисунок 2 – Принцип устройства вертикальных грунтовых тепловых насосов

По способу получения и сохранения этой энергии автономные системы делятся на активные и пассивные. Для активных автономных систем свойственно наличие скатной кровли, на которой располагаются солнечные батареи и коллекторы. Иногда они могут располагаться и на внешних стенах здания. В пассивных автономных системах применяется принцип нагрева внутреннего пространства (рисунок 3): избытки тепла аккумулируются внутренним термальным массивом: внутренними стенами, каминами, ёмкостями с водой или другими жидкостями; или внешнего пространства здания (южную стену, которая в течение дня освещена солнцем наибольшее количество времени, красят в тёмный цвет для большего нагрева поверхности, а перед стеной на небольшом расстоянии ставят стекло, которое создаёт парниковый эффект) с последующим накоплением тепла.

Важную роль играет планировка и эргономика они помогут сократить теплопотери и снизить затраты на отопление.

Эркеры, различные углубления и другие элементы являются мостиками холода в помещении, поэтому лучше всего выбирать какую-то простую, форму. Больше всего подходят квадрат, прямоугольник или близкие к этому очертания. Компактность играет не последнюю роль. Чем больше объем помещений, тем дольше времени и больше сил нужно, чтобы его отопить или проветрить. При размещении дома необходимо учесть его будущее местонахождение относительно сторон света и преобладающих ветров. Северная сторона считается ветреной и не солнечной, поэтому она будет наиболее холодной [12]. Здесь лучше разместить буферные помещения – сарай, подсобку, кладовую, гараж и т.д. Они послужат неким барьером для холодного воздуха и сильного ветра. В глубине здания лучше расположить спальные комнаты, гостиную, гостевую, кухню и т.д.

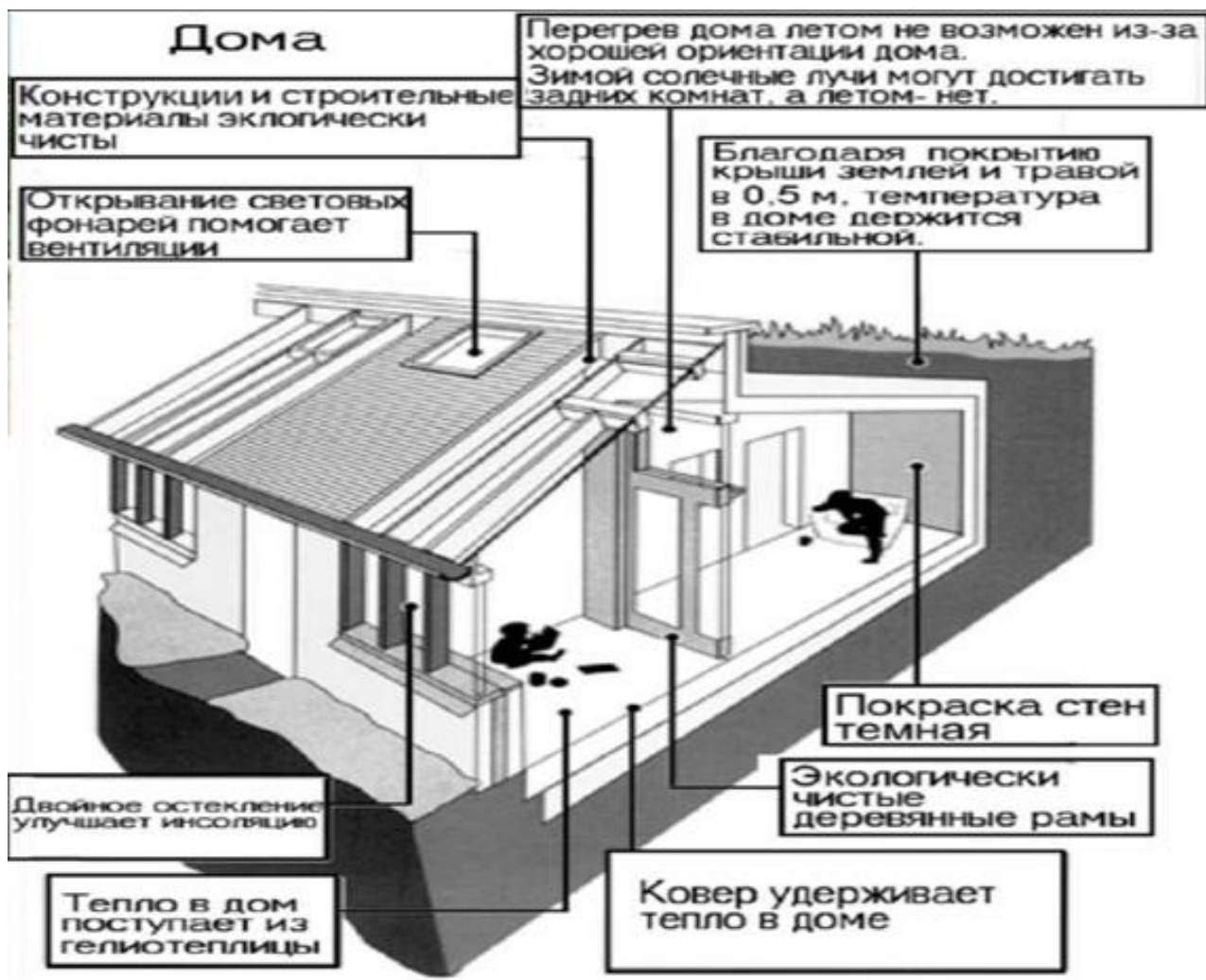


Рисунок 3 – Пассивная автономная система получения и сохранения тепла и энергии солнца

Для равномерного прогрева всей площади батареи и обогревателя лучше располагать в центре дома. Это позволит эффективно распределять тепло и избегать холодных зон [13].

Окна не следует располагать с северной стороны, так как они являются одним из главных источников теплопотерь. При проектировании окон следует также думать о естественном свете, который будет проникать через них, что позволит экономить электричество. Учитывая все эти нюансы можно создать автономный дом, который будет не только уютным и функциональным, но и энергоэффективным, даже в условиях суровых климатических условий.

При проектировании в жарких климатических условиях создают большое количество условия для проветривания помещений. Для этого устанавливается несколько вентиляций. Окна делают меньше, так же может использоваться машрабия (декоративная решетка на окнах), одна из ее функций это рассеивать солнечный свет, таким образом регулировать температуру внутри помещения.

Еще один способ понизить температуру внутри здания это размещать его немного закопав в землю. Так как земля медленно остывает, она сможет отдавать прохладу днем, а ночью наоборот тепло.

Помимо этого такой модульный дом может иметь поблизости свой оазис или маленький сад, где будут находиться растения, которые собой создают тени, что в свою очередь влияет на понижение температуры. Но сажать густые виды или слишком много не стоит, так как это может помешать вентиляции [14].

Таким образом, развитие мира технологий и строительного дела открывает новые возможности для жизни человека в экстремальных условиях: от арктических регионов с температурами ниже минус 60 градусов до пустынь, где температура превышает 70 градусов. Решением задачи комфортного проживания в таких тяжелых условиях становятся экологонезависимые автономные модульные дома.

Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими возводимыми сооружениями, среди них: автономность: использование возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, геотермальной) позволяет функционировать вдали от инфраструктуры; экологичность, минимизация воздействия на хрупкие экосистемы (например, предотвращение таяния вечной мерзлоты за счёт свайного фундамента), адаптивность: возможность проектирования в конкретных климатических условиях (экстремальный холод/жара), экономичность: снижение затрат на строительство, отопление и обслуживание благодаря энергоэффективным решениям; быстровозводимость: модули изготавливаются на заводах и доставляются на место, что сокращает сроки строительства и вмешательство в окружающую среду.

Дальнейшее развитие строительства экологонезависимых жилых модулей будет способствовать расширению границ человеческого проживания – как на Земле, так и за её пределами, делая жизнь в экстремальных условиях не просто возможной, а комфортной и устойчивой.

Список литературы

1. Ширсалимиан М.С., Мазиди С.М., Амузегар М.А. Пустыня Деште-Лут и ее микробное разнообразие: недавние и предполагаемые исследования // Микробиология, 2022. Т. 91, № 3. С. 263–273.
2. Шерстюков А.Б. Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009. 127 с.
3. Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н. и др. О проблемах градостроительства в криолитозоне (на примере Якутска) // Криосфера Земли, 2007. Т. 11, № 2. С. 76–83.
4. Охлопкова Т.В., Гурьянов Г.Р., Плотников А.А. Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты // Инженерно-строительный вестник, 2018. № 4 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelstvo-i-proektirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy-v-usloviyah-vechnoy-merzloty> (дата обращения: 21.03.2026).
5. Сауков Д.А., Гинзберг Л.А. Современное модульное строительство // Безопасность критичных инфраструктур и территорий. Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур Safety2018: сб. статей VIII Всеросс. научно-техн. конф. с межд. участием и XVIII школы молодых ученых, IV Международной конф., Екатеринбург, 04–05 октября 2018 года / УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина; Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН. Екатеринбург: НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН; УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, 2018. С. 69–82. URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/66309>.

6. Ворачева А.С. Модульное строительство в России: перспективы и вызовы // Россия молодая: сб. мат-лов XVI Всеросс. научно-практ. конф. с межд. участием, 16–19 апреля 2024 г., Кемерово / «Кузбасский государственный технический университет им.Т.Ф.Горбачева»; редкол.: К.С.Костиков (отв. ред.) [и др.]. Кемерово: КузГТУ, 2025. URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2024/RM24/index.htm> (дата обращения: 21.03.2026).
7. Межян С.А. Основы градостроительства: планировка сельских населенных мест // Наука без границ, 2021. № 1 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-gradostroitelstva-planirovka-selskih-naselennyh-mest> (дата обращения: 21.03.2026).
8. Маркова О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с использованием возобновляемых источников энергии: учебное пособие по проектированию. Москва: Полиграфия МАРХИ, 2014. 63 с.
9. Гушин С.В., Куроптев А.С., Алифанова А.И. и др. Энергосберегающее домостроение // Студенческий научный форум: мат-лы VI Межд. студ. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014007792> (дата обращения: 21.03.2026).
10. Болотов А.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии: уч. пос. Алматы: АУЭС, 2011. 79 с.
11. Климов Г.М., Цой Е.Н., Климов М.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения: использование с применением тепловых насосов: методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика и 270109.65 Теплогазоснабжения и вентиляция. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013. 50 с.
12. СП 131.13330.2020. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-01-99: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24.12.2020 № 859/пр: дата введения 2021-06-25. Москва: Стандартинформ, 2021. 140 с. [СП 131.13330.2020, приложение В].
13. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия: актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 04.12.2016 № 891/пр: дата введения 2017-06-04. Москва: Стандартинформ, 2018. 140 с. (Свод правил). [СП 20.13330.2016, приложение Е].
14. Зацепина Е.А., Рудинова Ю.И. Architectural planning of buildings. Практический курс английского языка для архитекторов: учебно-метод. пос. Москва: ГУЗ, 2023. 332 с.

Раздел 4

ПРИРОДОСОВМЕСТИМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

РАЗРАБОТКА И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Кузнецова В. С., Каменская Е. О.

ГБОУ ВО «Белорусский национальный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

В условиях глобального стремления к устойчивому развитию и снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду циркулярная экономика становится ключевой парадигмой, преобразующей традиционные линейные модели производства и потребления. Одним из перспективных направлений ее реализации является биоэнергетика, основанная на использовании возобновляемого сырья, в частности, отходов деревообработки. Производство топливных брикетов из древесных опилок представляет собой эффективный пример замыкания материальных потоков, позволяющий трансформировать проблему утилизации отходов в экономическую возможность.

Технологической основой разработанной бизнес-модели является последовательная цепочка операций: подготовка и измельчение сырья, сушка до оптимальной влажности 8–12 % с использованием энергоэффективной аэродинамической сушилки, прессование на ударно-механическом прессе под высоким давлением с выделением природного связующего лигнина, охлаждение и упаковка готовой продукции. Данная схема обеспечивает выпуск стандартизированных брикетов с высокой плотностью, теплотворной способностью до 5 кВт·ч/кг и зольностью менее 1 %, что превосходит характеристики традиционных дров и сопоставимо с углем, но с существенно более низким экологическим воздействием.

Результаты экономического обоснования проекта ООО «ТопимДом» подтверждает его высокую инвестиционную привлекательность и финансовую устойчивость. Суммарные инвестиционные затраты, включающие приобретение оборудования, подготовку помещения и организационные расходы, составляют 118 531 руб. При плановом объеме производства 14 000 упаковок в месяц (10 кг каждая) и отпускной цене 4,5 руб. за упаковку проект генерирует ежемесячную чистую прибыль в размере 16 382 руб., достигая точки безубыточности при объеме продаж 8 732 упаковки. Срок окупаемости инвестиций составляет 6 месяцев, рентабельность продаж – 26 %. Анализ чувствительности демонстрирует устойчивость проекта к колебаниям ключевых параметров: наиболее значительное влияние оказывает снижение объема продаж, в то время как рост стоимости сырья ввиду его низкой доли в структуре затрат имеет ограниченное воздействие на финансовый результат.

Социально-экономическая эффективность проекта проявляется в нескольких аспектах. Экологический вклад заключается в решении проблемы утилизации отходов деревообработки (175 тонн опилок ежемесячно),

сокращении выбросов парниковых газов за счет замещения ископаемого топлива и минимизации образования золы. Проект соответствует целям устойчивого развития ООН (ЦУР 7, 8, 12, 13). Социальный эффект выражается в создании новых рабочих мест (до 15 человек), повышении энергетической независимости домохозяйств и малого бизнеса, а также в улучшении условий жизни за счет предоставления удобного и чистого вида топлива.

Таким образом, представленная бизнес-модель производства топливных брикетов из древесных опилок является практически реализуемой, экономически эффективной и социально-ответственной инициативой, полностью соответствующей принципам циркулярной экономики. Ее внедрение способствует не только получению стабильной прибыли, но и решению актуальных экологических задач, развитию региональной экономики и переходу к более устойчивой модели энергопотребления. Перспективными направлениями дальнейшего развития являются диверсификация продукции (например, выпуск пеллет), использование других видов биомассы, оптимизация логистики для экспорта и автоматизация управления производством.

Список литературы

1. Стратегия национальной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. Утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2020 г. № 400.
2. Закон Республики Беларусь от 10 января 2011 г. № 242-3 «Об обращении с отходами».
3. Бабаш А.В. Управление инновационными проектами: теория и практика. Минск: БНТУ, 2020. 210 с.
4. Ковалев М.М. Анализ рынка биотоплива в Республике Беларусь: современное состояние и перспективы, 2022. С. 28–35.
5. Ключков В.В. Экономика и организация производства топливных брикетов и пеллет. М.: Колос, 2021. 184 с.
6. Официальный сайт Ассоциации «НП Биоэнергетический альянс». URL: <https://www.bioenergetics-alliance.ru> (дата обращения: 27.01.2026).

УДК 620.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Мартусевич К. Д., Каменская Е.О.

ГБОУ ВО «Белорусский национальный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Возобновляемая энергетика представляет собой производство энергии за счёт природных источников, которые естественным образом восстанавливаются и при этом минимизируют негативное воздействие на экосистему. К основным видам возобновляемой энергии относятся солнечная, ветровая, гидроэнергетика, биоэнергетика и геотермальная энергия. Каждая из этих форм характеризуется определёнными особенностями и потенциалом [1].

Использование возобновляемых источников энергии связано с рядом существенных экологических и экономических преимуществ. В первую очередь,

минимизация или полное исключение выбросов загрязняющих веществ при их эксплуатации способствует снижению уровней атмосферного загрязнения. Это приобретает особое значение в условиях обострения глобальных проблем, таких как изменение климата, сокращение запасов ископаемых видов топлива и ухудшение качества воздуха и водных ресурсов. Ключевым аспектом становится внедрение и совершенствование технологий, нацеленных на повышение эффективности применения местных возобновляемых ресурсов. Такие меры рассматриваются как важный фактор обеспечения устойчивого обеспечения энергией и укрепления энергетической автономии на уровне общества в целом.

В рамках поставленных задач Научно-исследовательский институт энергетики Национальной академии наук Беларуси осуществляет два главных направления научных исследований. Основной целью является повышение эффективности преобразования энергии биомассы и солнечного излучения в тепловую и электрическую энергию. Для достижения этой цели проведены фундаментальные исследования в области термохимической обработки органических материалов, выполнена разработка технологических решений, а также спроектировано оборудование, предназначенное для пиролиза биомассы. Кроме того, создана экспериментальная база, обеспечивающая оценку эффективности функционирования солнечных энергетических установок в условиях городской среды. Также установлено, что страна располагает значительными ресурсами для использования биомассы, которая обеспечивает около 6,1 % общего энергопотребления [2].

Процесс выработки электроэнергии из биомассы базируется на преобразовании её химической энергии в тепловую. В данной работе применялся метод прямого сжигания древесных отходов, остатков сельскохозяйственного производства и продуктов животного происхождения в специализированных печах или котлах. При воздействии высоких температур происходит окисление данных материалов с участием кислорода, сопровождаемое выделением тепловой энергии. Полученное тепло используется для нагрева воды до парообразного состояния под высоким давлением; пар, проходя через теплообменники, передаёт энергию рабочей среде, что приводит в движение турбину или двигатель, связанный с генератором, обеспечивая тем самым выработку электроэнергии [3].

Параллельно в ходе исследования применялись экспериментальные методы для оценки эффективности работы солнечных энергетических систем. На крыше института установлены шесть блоков солнечных панелей; специализированное электрооборудование расположено в инверторном зале, а в соседнем помещении размещён бак-аккумулятор для накопления тепловой энергии. Трансформация солнечной энергии происходит поэтапно, включая преобразование её в электрическую и тепловую форму, что способствует комплексному использованию доступного ресурса.

В результате разработаны технологические решения, обеспечивающие пиролиз органических материалов, а также созданы проекты оборудования для термохимического преобразования биомассы с целью выделения летучих газов, биоугля. В планах на перспективу значится разработка технологии производства

активированного угля из биомассы, что позволит расширить перечень продуктов переработки и повысить их экономическую значимость.

Подводя итоги, можно заключить, что комплексное применение биомассы и солнечной радиации выглядит перспективным направлением для развития децентрализованной электроэнергетики. Разработанные технологии пиролиза и термохимического преобразования позволяют эффективно использовать местные органические отходы, получая при этом различные формы энергоносителей.

Список литературы

1. Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.renwex.ru/ru/ii/vozobnovlyaemaya-ehnergetika/> (дата доступа: 03.03.2026).
2. Использование возобновляемых источников энергии в Беларуси. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/93418/1/978-5-8295-0703-9_1-2020-74.pdf (дата доступа: 03.03.2026).
3. Применение возобновляемых источников энергии в интеллектуальных сетях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-v-intellektualnyh-setyah/viewer> (дата доступа: 03.03.2026).

УДК 621.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСТАНОВКАХ МИКРОГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Хорьков С. А.¹, Дементьев А. А.², Дементьев И. А.²

¹ ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

² ООО «Деалан Энерго», г. Ижевск, Россия

В последние годы в Российской Федерации наблюдается активное развитие законодательной базы, направленной на стимулирование использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в сфере микрогенерации электрической энергии. Энергия солнца, ветра и движущейся воды становится все более доступной для частных домовладельцев, предприятий малого бизнеса и даже жителей многоквартирных домов. На фоне энергодефицитов в отдельных частях Единой энергетической системы России развитие микрогенерации приобретает особую актуальность.

В данной статье рассматриваются нормативно-правовые аспекты применения установок микрогенерации в РФ, анализируются существующие технологические решения отечественных производителей, а также приводятся практические примеры реализации таких проектов. Правовые основы функционирования микрогенерации в России заложены в [1] и закреплены в [2].

Согласно статье 26 закона [2], технологическое присоединение объектов микрогенерации осуществляется к объектам электросетевого хозяйства с уровнем напряжения до 1кВ. При этом технологическое присоединение должно предусматривать обеспечение технического ограничения выдачи электрической энергии в сеть с максимальной мощностью, не превышающей 15 кВт [2].

Законодательством установлено [2], что технологическое присоединение

объектов микрогенерации осуществляется на основании договора с сетевой организацией. Сетевая организация не вправе отказать обратившемуся лицу в услуге по технологическому присоединению и заключении соответствующего договора. Технологическое присоединение объектов микрогенерации должно предусматривать обеспечение технического ограничения выдачи электрической энергии в сеть с максимальной мощностью, не превышающей величину максимальной мощности принимающих устройств потребителя.

В дальнейшем совершенствование законодательства в области микрогенерации продолжилось. В конце декабря 2025 года Правительством Российской Федерации в Государственную Думу был внесен законопроект № 1109066–8 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» (о микрогенерации). Документ направлен на создание дополнительных стимулов для развития электроэнергетической микрогенерации, в том числе на основе ВИЭ. 18 февраля 2026 года законопроект был рассмотрен на пленарном заседании Государственной Думы и принят в первом чтении [3, 4, 5].

Данный законопроект также предусматривает передачу Правительству РФ полномочий по определению предельных значений объема выдачи электроэнергии объектом микрогенерации в электрическую сеть.

Как отмечается в пояснительной записке к законопроекту, действующее ограничение в 15 кВт сдерживает развитие рынка более мощных устройств отечественного производства. Предлагаемый механизм гибкого регулирования позволит использовать микрогенерацию не только для сокращения расходов на электроэнергию, но и для повышения надежности энергоснабжения, поскольку такие установки смогут выполнять функцию резервных источников питания значительной мощности [5].

Одним из ведущих российских разработчиков и производителей оборудования для микрогенерации является компания ООО «Деалан Энерго» (г. Ижевск). Предприятие специализируется на создании энергоустановок, использующих энергию воды, ветра и солнца, предлагая комплексные решения для автономного и резервного электроснабжения.

Компания Деалан Энерго является единственным производителем речных, водопогружных (бесплотинных) микро ГЭС на территории РФ с турбиной ортогонального исполнения со сбалансированным ротором. Стратегия развития энергетических сетей компании «Деалан Энерго» основана на использовании хорошо проработанных и прошедших испытания маломощных блоков. Благодаря электронному согласованию эти блоки интегрируются для параллельной работы в единую сеть. Построенные таким образом станции поставляют сгенерированную энергию в сеть требуемой мощности в соответствии с техническим заданием заказчика.

Значительную надежность электроснабжения и наибольшую популярность имеют станции гибридного исполнения (Hybrid), сочетающие в себе, как минимум два первичных источника энергии, например, солнечную энергию и энергию ветра. Они имеют возможность, как поставлять электрическую энергию в сеть для продажи, так и отдавать ее в автономную сеть

для собственного потребления. В случае перерыва в генерации или при требовании включения нагрузки большей мощности, в гибридных станциях предусмотрены накопители электрической энергии, а так же имеется дополнительная возможность включения через автоматический ввод резерва (АВР) бензо- (дизель-) генераторов или резервной электрической сети.

В настоящее время выпускаются блоки 2-х серий речных ГЭС: бытовая серия «Акула» и промышленная серия «GS».

Серия «Акула» выдает мощность до 5 (6,2) кВт и более, напряжение 220В 50 Гц чистый синус. Вырабатываемая мощность серийной модели зависит от геологических и гидротехнических характеристик реки в месте установки ГЭС.

Серия «GS» вырабатывает от 5 до 100 кВт и более, напряжением 220/380В 50 Гц чистый синус. Изготавливается эта станция по индивидуальному проекту на основании обследования места установки ГЭС.

Среди разработок компании особое место занимают микро ГЭС, предназначенные для работы на реках и водосбросах со значительным перепадом, напором (H) и малым расходом (Q) воды. Установка GS Hydro K-2 мощностью 2 кВт (рисунок 1) относится к категории быстровозводимых гидростанций.

Особенностью данного устройства является то, что напор воды создается за счет естественного перепада уровней, используемого посредством деривации (искусственных каналов, трубопроводов). Струйно-ковшовая турбина (турбина Пелтона) станции имеет активный ротор (рисунок 2). Нарботка станции GS Hydro K-2 составляет до 1,4 МВт·ч в месяц. На выходе станции формируется синусоидальное напряжение 220 В частотой 50 Гц.



Рисунок 1 – Микро-ГЭС GS Hydro K-2



Рисунок 2 – Ротор микро-ГЭС GS Hydro K-2

Гидростанции могут работать в сетевом, автономном и гибридном исполнении. Для увеличения суммарной мощности они могут объединяться в параллельную работу через установленный коллектор.

Линейка ветрогенераторов GS представлена моделями различной мощности: GS-0,3 (0,3 кВт) – компактная установка для малых потребителей; GS-1,5 (1,5 кВт) – оптимальное решение для частных домовладений; GS-2 (2 кВт) – установка повышенной мощности для более энергоемких объектов.



Рисунок 3. Гибридная ветросолнечная станция

Ветрогенераторы могут использоваться как самостоятельно, так и в составе гибридных систем. Наиболее эффективным решением для обеспечения круглогодичного энергоснабжения являются гибридные установки, сочетающие ветровую и солнечную генерацию. Компания «Деалан Энерго» производит ветросолнечные станции серии GSk мощностью 1,5 кВт, 2 кВт, 3 кВт, 6,2 кВт, 12 кВт.

Ветросолнечная станция GSK-5, показанная на рисунке 3, представляет собой быстровозводимую каркасную конструкцию мощностью 5 (6,2) кВт. Данное оборудование предназначено для электроснабжения объектов в

удалении от основных сетей и обеспечивает стабильное энергопитание при переменчивых погодных условиях [6].

Важным компонентом установок микрогенерации являются генераторы на постоянных магнитах, обеспечивающие при относительно простой конструкции высокую эффективность преобразования механической энергии в электрическую. ООО «Деалан Энерго» проектирует и производит аксиальные и радиальные генераторы со степенями защиты от IP 54 до IP68 для диапазона мощностей от 0,1 до 50 кВт различного назначения и различных конструкций (для мини- и микроГЭС; для ветростанций на различные частоты вращения и др.).

Некоторые решения в области микрогенерации защищены патентами, например [7, 8].

Российские разработки в области микрогенерации востребованы не только на внутреннем, но и на международном рынке. Компания «Деалан Энерго» заключила контракт на поставку 40 мини-гидроэлектростанций в Узбекистан. Реализация проекта направлена на обеспечение электроэнергией одного из населенных пунктов республики [9]. Первая очередь поставки включает 8 мини-ГЭС общей мощностью 230 кВт. Проект реализуется при поддержке Министерства промышленности и торговли Удмуртской Республики и Регионального центра компетенций [10]. Ранее, в сентябре 2024 года, компания заключила лицензионное соглашение с Кокандским механическим заводом на производство и реализацию своего оборудования в Узбекистане.

Продукция изготавливалась для предприятий и учебных заведений РФ, а так же для поставки в Сербию, Африку (Конго), Кыргызстан, Казахстан, ведутся переговоры на открытие представительств компании в Грузии, Узбекистане, Кыргызстане. Это свидетельствует о высоком уровне доверия к российским технологиям.

Развитие микрогенерации на основе ВИЭ обеспечивает ряд значимых эффектов: снижение расходов потребителей на электроэнергию; повышение надежности энергоснабжения удаленных и труднодоступных территорий; создание новых рабочих мест в сфере производства и обслуживания оборудования; развитие экспортного потенциала отечественного машиностроения; снижение нагрузки на централизованные электрические сети.

Использование ВИЭ в установках микрогенерации является перспективным направлением развития российской электроэнергетики. Принятые в 2025–2026 годах законодательные инициативы создают благоприятные условия для внедрения таких технологий, включая возможность их установки в многоквартирных домах.

Отечественные производители, такие как ООО «Деалан Энерго», предлагают широкую линейку оборудования для микрогенерации, включая гидроэлектростанции, ветрогенераторы и гибридные ветросолнечные установки. Наличие патентов на промышленные образцы подтверждает оригинальность и конкурентоспособность российских разработок.

Экспортные поставки российского оборудования для микрогенерации в страны Центральной Азии, Африки, странах ЕС, демонстрируют признание отечественных технологий на международном уровне и открывают новые

перспективы для развития отрасли.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ (с изменениями от 27.10.2025 г. № 391-ФЗ, вступившими в силу с 1.02. 2026 г.). Статья 26 «Регулирование доступа к электрическим сетям и услугам по передаче электрической энергии». // СПС «ГАРАНТ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/185656/> (дата обращения: 20.03.2026).
2. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации*»: (принят ГД ФС РФ 11.12.2019) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280019> (дата обращения: 23.03.2026).
3. Законопроект о развитии микрогенерации в многоквартирных домах. Принят в первом чтении Государственной Думой РФ 18 февраля 2026 года. // Ассоциация сибирских и дальневосточных городов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal1.asdg.ru/news/391083/> (дата обращения: 20.03.2026).
4. BigpowerNews: Госдума приняла в первом чтении законопроект о микрогенерации [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.bigpowernews.ru/> (дата обращения: 23.03.2026).
5. Обзор законопроектов: расширение компетенции Правительства РФ в сфере определения технических параметров микрогенерации. // СПС «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.consultant.ru/law/review/209637913.html> (дата обращения: 20.03.2026).
6. Данные тендера на поставку ветросолнечной станции GSK-5. BiCoTender. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bicotender.ru/tender232822955.html> (дата обращения: 20.03.2026).
7. Патент на промышленный образец № 119866 «Гидроэлектростанция для рек и каналов».
8. Патент на промышленный образец № 132359 «Электростанция ветросолнечная». Дата выдачи: 25 июля 2022 г.
9. Микро ГЭС «Акула». Продукция ООО «Деалан Энерго». // БРИКС Центр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bcic-brics.org/opportunities/UGFydGljaXBhdGlvbk9wcG9ydHVueXR5OjE4MjkwNw==> (дата обращения: 20.03.2026).
10. Удмуртия экспортирует «зеленую» энергию в Узбекистан. Информационное агентство Caravan-info. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://caravan-info.uz/ru/ekonomika/784939-udmurtiya-exportiruet-zelenuyu-energiyu-v-uzbekistan.html> (дата обращения: 20.03.2026).

Раздел 5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ

MODERN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT: ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS PSYCHOLOGICAL ASPECTS

Mutallimzada Aytan Sabir

«Baku State University», Baku, Azerbaijan

Advanced high-technology digital applications, while accelerating and enhancing our lives on the one hand, are on the other hand causing a narrowing in the realm of fundamental human values. It is also evident that humanoid robots produced through artificial intelligence, which are rapidly becoming present in every sphere of life, generate concerns about the future of the human race. As previously noted, the effects of artificial intelligence studies on individuals and society constitute a significant field of research within psychiatry, psychology, and the behavioral sciences. On the other side of the coin lies the issue of benefiting from artificial intelligence developments within the field of psychology [5].

Artificial Intelligence (AI) technologies have rapidly penetrated our daily lives over the past decade. Tools such as smart assistants, chatbots, recommendation systems, and therapy support programs are creating significant changes not only in work and education but also in our psychological experiences. This new form of relationship that people establish with technology produces complex effects on psychological well-being, social bonds, and decision-making processes [8]. In this article, we will examine the areas where artificial intelligence touches human psychology in light of scientific studies and explore the emerging opportunities and risks in a clear and accessible language.

The Role of Artificial Intelligence in Psychological Support

AI-supported applications provide significant assistance in the treatment of common mental health problems such as depression and anxiety. Especially for individuals who hesitate to seek psychological help or have limited access to services, chatbots available 24/7 offer mood tracking and guidance. In a study conducted by Fitzpatrick, Darcy, and Vierhile (2017), the use of an AI-based chatbot called Woebot was associated with a reduction in participants' depressive symptoms. However, it is emphasized that such programs cannot fully replace human therapists; empathy, intuition, and the ability to build therapeutic relationships remain distinctive strengths of human psychologists [1].

The Impact of AI on Social Bonds and Emotional Dependency

Intensive interaction with artificial intelligence may increase the risk of social isolation in some individuals. Sherry Turkle (2023), a leading researcher in the social sciences, highlights that people's growing attachment to technology may weaken real human relationships. Particularly among individuals experiencing loneliness, artificial «friendships» formed with AI can substitute face-to-face communication, potentially reducing psychological resilience. This may lead to a decline in social skills and an inability to fully meet emotional needs [7].

Research conducted by Kato and Nishida (2024) at Waseda University indicates

that the attachment styles people develop toward artificial intelligence may reflect their emotional tendencies in human relationships. Many individuals are beginning to perceive AI systems not merely as tools but also as “companions” that provide emotional support. Especially those with higher levels of loneliness may experience a comforting sense of closeness through AI interaction. However, such attachment cannot offer the empathy, understanding, and emotional depth found in real human relationships. Due to AI’s lack of consciousness, it may not fully satisfy individuals’ social needs in the long term. Therefore, it is important to approach emotional relationships with AI cautiously, view technology as a supportive tool, and avoid allowing it to completely replace human contact [4].

AI and Emerging Psychological Interaction Patterns

Kato and Nishida (2024) further examined attachment styles toward artificial intelligence and found that these interactions may mirror individuals’ interpersonal attachment patterns. People may view AI not only as a functional instrument but also as an entity providing emotional support. This suggests the emergence of a new relational dynamic between technology and human psychology. Nevertheless, such attachment should not be expected to replace real human relationships, as artificial intelligence lacks consciousness and genuine emotional understanding.

AI algorithms influence decision-making mechanisms by analyzing users’ preferences and offering personalized recommendations. At times, this may consciously or unconsciously reinforce cognitive biases. A study by Zhou and colleagues (2025) demonstrates that manipulative AI designs can significantly affect users’ financial and emotional decisions. For example, social media platforms and online shopping websites may use personal data to encourage increased consumption. Therefore, ethical standards and users’ psychological awareness are of great importance in the use of artificial intelligence [2].

Virtual Reality in Psychotherapy

In all these areas, AI-based algorithmic models and applications can lay the groundwork for significant advancements. Beyond the issues of will and decision-making, which are often the focal points in artificial intelligence applications, important insights can also be gained regarding emotional processes-often neglected-and the recovery from trauma.

Within the process of psychological treatment, virtual reality (VR) applications provide substantial benefits in psychotherapy. Confronting past experiences – often a crucial step for individuals with psychological difficulties-can be facilitated more rapidly through AI-supported virtual reality environments. Through various technological devices, perceptions and images resembling past experiences can be recreated in highly realistic virtual scenarios and simulation environments. These simulations stimulate the brain, eyes, ears, and bodily sensations, enabling individuals to face their past more effectively and safely [6].

In this way, it may become possible to make faster progress in addressing issues such as addiction, obsessive tendencies, anxiety disorders, post-traumatic stress disorders, and antisocial behavior. However, as in many other fields, it is extremely important to establish clear ethical standards and boundaries regarding the use of artificial intelligence

in psychology. Another area where AI psychology can provide significant benefits is in addressing psychological problems arising from the digital age itself. Artificial intelligence applications can be effectively utilized in combating crimes committed in virtual environments, cyber abuse, digital addiction, and data security issues.

Future Psychological Concerns and Opportunities

With the rise of AI, concerns such as «loss of humanity», «decline in empathy», and «loss of control» are becoming increasingly widespread. On the other hand, AI-supported technologies facilitate communication for individuals with disabilities and provide personalized psychological support and educational opportunities. Managing the ethical and psychological dimensions of AI in a balanced way is critical for societal mental health. As technology continues to advance, understanding its psychological impact and fostering public awareness become essential [3].

Conclusion

Artificial intelligence has both positive and negative effects on human psychology. While it increases access to psychological support services, it may also bring the risk of social isolation. The attachment styles people develop toward AI open new psychological domains; however, they do not replace genuine human relationships. Moreover, the influence of AI on our decisions must be carefully evaluated from ethical and psychological perspectives.

In conclusion, it is necessary to benefit from artificial intelligence as a tool that facilitates and improves life. Setting aside the dominant powers' claim of surpassing humans by replicating them through advanced robotics, it is essential and valuable for artificial intelligence to focus on understanding humans more deeply and to be utilized in addressing psychological problems.

In the future, understanding the psychological effects of artificial intelligence will be indispensable for healthy and conscious technology use. As individuals regulate their relationship with technology, it is important to consider their own social and emotional needs.

List of literature

1. Fitzpatrick K.K., Darcy A., Vierhile M. Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): A randomized controlled trial // JMIR Mental Health, 2017. Vol. 4, No. 2.
2. Gültekin M. Psikolojik sağlık hizmetlerinde dijital fenotipleme kullanımı: Fırsatlar, etik ve yasal sorunlar // Nesne. 2021. Vol. 9, No. 22. pp. 968–988.
3. Hirschtritt M.E., Insel T.R. Digital technologies in psychiatry: Present and future // Focus, 2018. Vol. 16, No. 3. pp. 251–258.
4. Kato T., Nishida T. Human attachment styles reflected in human-AI interaction // Journal of Human-Computer Studies, 2024. Vol. 152.
5. Kulke L., Feyerabend D., Schacht A. A comparison of the Affectiva iMotions Facial Expression Analysis Software with EMG for identifying facial expressions of emotion // Frontiers in Psychology, 2020. Vol. 11.
6. Onnela J.P. Opportunities and challenges in the collection and analysis of digital phenotyping data // Neuropsychopharmacology, 2021. Vol. 46. pp. 1–11.
7. Turkle S. Alone together: Why we expect more from technology and less from each other. MIT Media Lab Report, 2023.
8. Zhou X., Li Y., Chen J. Ethical concerns in manipulative AI: Effects on user decision making // arxiv preprint, 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.07663>.

РОЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Куцепалова Д. А.

ГБОУ ВО «Белорусский национальный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение

Сегодня, когда мир сталкивается с вызовами климатических изменений, истощения ресурсов и потери биоразнообразия, вопрос устойчивого развития выходит на первый план. В этой связи образование играет ключевую роль не просто как инструмент передачи знаний, но как основа для формирования экологического сознания. Под экологическим сознанием я понимаю не только понимание проблем окружающей среды, но и готовность к действиям, которые способствуют гармоничному сосуществованию человека и природы. В моем докладе я хочу рассмотреть, как образование влияет на это сознание, опираясь на практические примеры и теоретические аспекты, и показать, почему оно является фундаментом для устойчивого будущего [1].

Основная часть

Начнем с того, что образование закладывает основы понимания экосистем и их уязвимости. В школьных программах, начиная с младших классов, дети знакомятся с базовыми понятиями экологии – циклом воды, пищевыми цепочками, влиянием человеческой деятельности на природу. Это не просто факты из учебника; это первые шаги к осознанию взаимосвязи всего живого. В Швеции и Финляндии, например, еще в детских садах проводятся экологические уроки и игры, направленные на воспитание любви к природе и чистоте вокруг себя. Такие практики не только дают знания, но и воспитывают эмпатию к природе. Переходя от теории к практике, мы видим, что именно через опыт образование превращает абстрактные идеи в личные убеждения [2].

Но образование не ограничивается школьными стенами. В высших учебных заведениях и программах дополнительного образования акцент смещается на критическое мышление и анализ глобальных проблем. Студенты изучают, скажем, Парижское соглашение по климату или цели ООН в области устойчивого развития, разбирая их на семинарах. Здесь важно отметить, как это формирует не пассивное знание, а активную позицию. Я вспоминаю свой опыт работы с группой студентов в одном из белорусских вузов: мы проводили дебаты о влиянии промышленного роста на экологию. В итоге многие из них не только изменили свои взгляды, но и инициировали локальные кампании по снижению пластикового загрязнения. Это показывает, что образование стимулирует переход от индивидуального осознания к коллективным действиям, делая устойчивое развитие не абстрактной целью, а реальной задачей [3].

Далее, стоит поговорить о роли образования в преодолении барьеров, таких как культурные стереотипы или экономические интересы. В развивающихся странах, где экологические проблемы часто переплетаются с

бедностью, образование помогает людям увидеть долгосрочные выгоды от устойчивых практик. Возьмем Индию: программы по экологическому просвещению в сельских районах учат фермеров методам органического земледелия, что не только сохраняет почву, но и повышает доходы. Такие инициативы плавно связывают образование с социально-экономическим развитием, показывая, что экология – это не жертва, а инвестиция [4].

Однако образование должно эволюционировать, чтобы отвечать современным вызовам. С развитием цифровых технологий мы наблюдаем сдвиг к онлайн-платформам и виртуальной реальности, где студенты могут «побывать» в разрушенных экосистемах или смоделировать последствия глобального потепления. Это добавляет эмоциональный слой к обучению, усиливая мотивацию. Но здесь важно обеспечить доступность: не все имеют равные возможности доступа к таким ресурсам. Поэтому правительства и организации должны инвестировать в инклюзивное образование, чтобы экологическое сознание формировалось у всех слоев общества. Переходя к глобальному контексту, мы видим, что международные партнерства, как в рамках ЮНЕСКО, способствуют обмену опытом, делая образование универсальным инструментом для устойчивости [5].

Заключение

Образование – это мост между сегодняшними проблемами и завтрашними решениями. Оно формирует не только знания, но и ценности, которые побуждают к ответственному поведению. Если мы хотим достичь устойчивого развития, то инвестиции в экологическое образование должны стать приоритетом. Именно через такое сознание мы сможем построить мир, где человек и природа сосуществуют в гармонии.

Список литературы

1. Экологическое сознание. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/1737> (дата доступа: 14.12.2025).
2. В поисках знаний: как выстроена система экопросвещения в разных странах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soz.bio/v-poiskakh-znaniy-kak-vystroena-sistem/> (дата доступа: 14.12.2025).
3. Парижское соглашение – реальный шанс удержать планету от климатической катастрофы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdgs.by/news/parizhskoe-soglasenie-realnyj-shans-uderzhat-planetu-ot-klimaticheskoy-katastrofy/?print=print> (дата доступа: 14.12.2025).
4. В Индии стартует Национальная миссия по натуральному земледелию для фермеров с господдержкой в 32 млрд рублей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soz.bio/v-indii-startuet-nacionalnaya-missiya/>. (дата доступа: 14.12.2024).
5. ЮНЕСКО заявляет, что экологическое образование должно стать основным компонентом учебной программы к 2025 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unesco.org/ru/articles/yunesko-zayavlyaet-cto-ekologicheskoe-obrazovanie-dolzno-stat-osnovnym-komponentom-uchebnoy-programmy-k-2025-godu> (дата доступа: 14.12.2024.).

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ: ОТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АГРЕССИИ К МАТЕМАТИКЕ ВОСТОКА

Маврикиди Ф. И.¹, Хорьков С. А.²

¹ ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН», г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

Введение

Само существование термина «экология» вводит в круг познания вопросы основ человеческого бытия. В этом смысле экология есть биологическая, а не физическая «Теория Всего».

Современный этап подходов к решению общих экологических проблем, базирующихся вокруг отношения «природное – техническое», характеризуется выходом обсуждения на новый уровень. Вместо робких попыток умерить аппетиты научно-технического прогресса, сохранив его машинно-технологическое содержание [1], исследователи обратили внимание на мышление человека – основной инструмент творца технической агрессии. В научно-техническую идею стали вторгаться данные гуманитарных наук, а экономический прогресс сегодня рассматривается в оптике человеческих ценностей. Параллельно происходит трансформация идеи науки: корпус понятий западного рационализма стал замещаться идеями восточного мировоззрения [2, 3, 4, 5, 6].

Проблема междисциплинарности

Этот сдвиг мышления упирается в математическое обоснование биологической и психической реальности как ядра общей теории систем. В этом плане также произошли обнадеживающие изменения. Они включают в себя естественно-природную универсальность фракталов и, в частности, их присутствие в биологии и психике, чему посвящено немало работ, имеющих необходимое разнообразие. Формальному представлению фракталов посвящены работы авторов [8].

Экология задает фокус проблемы междисциплинарности. На первом плане здесь стоит общесистемная проблема «общего знаменателя»: каким образом *in vivo* взаимодействуют объекты и процессы, которые *in vitro* являются теоретически разобщенными?

Цель работы

В работе [8] изложен новый подход к математическому содержанию теоретической экологии. Его основа – согласованность эмпирической междисциплинарности фракталов и математической многомодальности 2-адических чисел, которая обеспечивает адекватность формализации этой согласованности. Спецификой подхода является включение человека в теорию и формирование причинно-рефлексивного круга динамики, адекватного известным природным циклам.

В настоящей работе авторы рассматривают возможность включения

гуманитарного мировоззрения в формальную теорию. Мейнстримом этой идеи стало обращение к идеям и понятиям восточных философий. Авторы стремятся показать, что линия мысли «Математика и Восток» имеет надежное математическое обоснование. В частности, система гуманитарных понятий – язык, сознание, духовность – может излагаться и преподаваться как естественнонаучная дисциплина.

Математически точное решение единства предложил Г.Д. Гачев в своем анализе многообразия народов и их культур – «Возлюбленная непохожесть» [7]. Оно сочетает в себе воплощение проблемы Платона (Единое–Многое), системной парадигмы (Целое–Часть), познавательного дуализма (Разум–Чувства) и числовой асимметрии (вещественные R и p -адические числа Z_2). Все эти пары являются интерпретациями асимметрии «Запад–Восток».

Гуманитарная трансформация идеи прогресса

Сегодня тема «Экология и духовность» проанализирована от первобытных обществ до современных систем восточной и западной мысли. Китайское Дао, греческий Логос, рита и дхарма в Индии и буддизме, аш-Шари'а в исламе, идея Всеединства русской религиозной философии, политеизм, обожествление Природы язычниками – все они одинаково описывают Человека и Космос как согласованный с нравственностью порядок вещей. Эта картина первичности невидимого, центральной роли связи Человека и Природы, принадлежит Востоку, который есть не столько географическое понятие, сколько система идей холизма, мировоззрения, отличного от западного рационализма.

Мировоззрение Востока сформировало идею осознанного капитализма [5] и «буддийской экономики» [3, 6]. В ней человек ставится в центр прогресса: «Объем человеческого счастья важнее объема валового промышленного продукта». Общим местом этих работ является постановка человеческого мышления и психики в центр научного познания в качестве главного действующего фактора и признание Природы полноправным партнером взаимодействия.

При всей своей бытийной очевидности научное решение этой проблемы блокирует авторитет математики: требуется доказать «объективность субъективного», «очевидность невидимого». Математически доказать существование жизни, психики, сознания, языка, природы и самого человека невозможно, следовательно, невозможно включить их в научную картину мира. Аналитический язык математики разорвал бытие, изолировал его отдельные фрагменты и препятствует восстановлению целостной картины.

Что не так с математикой?

В современном мышлении (как научном, так и обыденном) математика занимает особое место. Принято считать, что она обеспечивает обоснованность, точность и правильность ответственных решений во всех сферах человеческой практики.

В экологии, как и во всем естествознании, существуют два полюса. Первый – материальный, состоящий из наблюдаемых физико-химических объектов и явлений. Второй – эволюционный, биологического содержания,

недоступный чувственным наблюдениям. Математика экологии ограничена физическими расчётными методами первого полюса [9, 10].

Не меняет дело даже обращение к новейшим идеям фрактальной теории [26]. Второй полюс со времен кибернетики, пытавшейся сделать биологию «новой физикой», остается недоступным математике. Именно этот изъян признается причиной кризиса.

Агрессивность технического прогресса воплощена в основаниях математики, в теории множеств и в аксиоме выбора (АС), и в отношении человека к этим основаниям. Оба этих положения составляют содержание математической абстракции – отрыва её предмета от реальности. Абстракция есть замещение Целого его Частью и отбрасывания всего остального.

Аксиома выбора постулирует существование неограниченного ресурса для технологических воплощений математических теорий. Если ограничиться рассмотрением только конечных множеств, то утверждение АС может быть доказано, исходя из аксиом теории множеств. Оно также может быть доказано для некоторых бесконечных множеств.

Аксиомы теории множеств имеют простую семантику. Она есть принятие атомизма под видом аксиомы фундирования (*axiom of foundation*, *AF* – англ.) и допущение возможности ничем неограниченного оперирования множествами – собирание их в единое множество, подстановку, включение/исключение, отбрасывание. Большинство подобных действий реализовано в арифметических операциях и присутствует в каждой теоретической процедуре – доказательстве, вычислении, и составляет то, что называется математической механикой символов. В такой науке человек находится вне абстрактного множества, элементы которого уже созданы и даются готовыми. В применении к наукам биологического ядра такие аксиомы допускают произвольное механическое манипулирование жизнью, Природой и, как следствие, сознанием.

Современная экономика, начавшаяся с работы У. Петти «Политическая арифметика», появившейся в 1676 году, сегодня предстает в виде либерализма и монетаризма – экономических клонов аксиомы выбора и математической абстракции. Именно поэтому технически развитые страны столь агрессивны: их понимание жизни постоянно требует новых ресурсов.

Канторовская математика есть внеприродная реальность. Её теории это *in vitro* модели, которые блокируют биологию, т.е. реальность *in vivo*.

Иное дело теория множеств Д. Мириманоффа. Здесь множество образуется проникающим разумом [28] – прогрессирующим заглядыванием/различением деталей объекта (*zooming in*). В отличие от канторовской теории, теория Мириманоффа не требует постоянного притока материала и применима в гуманитарной сфере – языке, мышлении, психике. Её формальная основа – аксиома антифундирования (*AFA*) [13], т.е. ан-атомия. В пределе проникающего анализа происходит расщепление материи вплоть до её самоотрицания (К.Г. Юнг, Г. Патти) и переход её в символическую реальность. Материей множеств Мириманоффа являются границы тел, процессов, понятий. Эта материя широко представлена работами по фрактальной геометрии. Её особенность заключается в физической неопределённости, неизмеримости,

недоступности эксперименту. Будучи в постоянном движении она является ускользающей реальностью для теорий. Мир границ и материальных объектов совмещены – это один и тот же мир. Проблема в способах наблюдения и описания.

Множества Кантора составляют материальный полюс естествознания, Мириманоффа – эволюционный.

В целом математика есть стереотипное, конвергентное мышление, направленное в биологическое прошлое. Мышление об экологии, человеке, духовности, восточное миропонимание есть мышление дивергентное, творческое, направленное в будущее. Это две противоположные логические системы. Первая – гёделевская (непротиворечивая и неполная), вторая – Пресбургера (с отрицанием, но полная и непротиворечивая). Первая – символ редукционизма, левополушарного мышления, западного рационализма, вторая – антиредукционизма, холизма, правополушарного мышления, восточной философии.

Навязывание одного образа математики в образовании есть навязывание шаблонного мышления, которому соответствует практика либерализма в экономике. Лидерство Запада в современном мире проистекает из доминирования «мышления сокращенным разумом» (А.Ф. Лосев).

Восточное мировоззрение, правополушарное по сути, может дополнить ту часть, мыслительной деятельности, которая соответствует левополушарному диктату. Такая пара соответствует условиям развития жизни, которая созидает себя в условиях очевидного саморазрушения [18]. Формальным представителем этой парадоксальной пары является числовая асимметрия, интерпретация которой прослеживается во всех областях естествознания, включая биологию.

Числовая асимметрия есть сочетание вещественных (R) и p -адических чисел (символ « p » от простых чисел, в частности Z_2 – целые 2-адические числа). Поля этих чисел получают пополнением поля рациональных чисел обычной метрикой (вещественные числа) и – ультраметрикой (p -адические числа). Одна из интерпретаций этой пары такова: вещественные числа соответствуют материальному миру, p -адические числа – миру идеальному.

Биология в сравнении с математикой

Биология составляет ядро всех разделов науки о жизни – от клеток до социумов. Она же – парадигма общей теории систем. Неадекватность физико-математических моделей биологии не раз отмечалась исследователями (Н.А. Бернштейн, П.К. Анохин, А.В. Брушлинский, Ю.А. Шрейдер, Н.Н. Моисеев) и продолжает привлекать внимание [27]. Диагноз И.М. Гельфанда о «непостижимой неэффективности математики в биологии» сегодня развился в ожидание биологической математики – поиска биологических структур в математике [17] в противовес математической биологии.

Сущностными отличиями биологических объектов от физических являются *анатомия* (действующая делимость Целого) и *разнообразие* (различие форм, фаз, состояний). Эта пара исключает механическую определенность, свойственную материальным точкам физики. Биологические объекты от

организмов до экосистем являются *синтетическими* сущностями в отличие от аналитических материальных точек физики.

Фракталы как анатомия природы

Сегодня математика фракталов ограничена физикой – дробными размерностями, иррегулярными зависимостями материальных объектов. Истинные, нефизические фракталы возникают в пределе делимости материи, там, где материя переходит в символ. Они являются невидимыми, неслышимыми, неосязаемыми – нульмерными по терминологии математики. Фрактальный мир есть сеть символической динамики, видимый проникающим, а не отражающим разумом [28].

По известной теореме из геометрической теории меры нульмерные множества могут порождать как материю, так и символ – «ничто, которое есть всё» [14, 15]. Эта теорема, утверждающая рождение материи из «наполненной пустоты», открывает перспективу биологии в математике. Фракталы есть множества с анатомией, высказывания с планом содержания. Они многомодальны, т.е. качественно разнообразны как биология и психика человека, и представляют собой двойной модус описания и мышления – и словами, и образами.

Во фрактальной топологии возможно возникновение и существование синтетических сущностей, образованных объектами и процессами разной природы. Общность топологии математических пространств и объектов внешнего мира делает «восточную» математику теорией *in vivo*.

Такое понимание фракталов позволяет обнаружить причинно-рефлексивный круг, связывающий тонкую, информационную сущность природы с её вещественной гранью. Соответственно, основные понятия восточного мировоззрения включаются в математическую теорию. Как следствие, это позволяет формализовать нисходящую причинность – влияние целого на части, человека на природу, ставить задачу прогнозирования отдаленных последствий технического прогресса.

Микрокосм и макрокосм

Человек входит в системную теорию через изоморфизм своего присутствия в числовой асимметрии. Поэтому математика, основанная на числовой асимметрии, есть математика фрактальной психофизиологии Природы.

Представим расширенную символическую запись вышесказанного.

$$\begin{aligned} U &= R \times Z_2 \cong 1cc \times 2cc \cong \text{Techno} \times \text{Bio} \cong \text{Запад} \times \text{Восток} \cong \text{Кантор} \times \text{Мириманофф} \cong \\ &\cong \text{редукционизм} \times \text{холизм} \cong \text{отражение} \times \text{проникновение} \cong \text{видимое} \times \text{невидимое} \cong \\ &\cong \text{фрактальная психофизиология Природы} \end{aligned}$$

где U – пространство системных объектов;

R, Z_2 – пространство вещественных и целых 2-адических чисел, соответственно;

$1cc, 2cc$ – первая и вторая сигнальные системы человека, соответственно.

Здесь изоморфы обозначают слева направо: числовая асимметрия фракталов, первая и вторая сигнальные системы человека, пространство техники и биологии, канторовские и мириманоффские основания математики, две установки и два полюса науки, способы наблюдения, две реальности. Эта «уверенность в невидимом», «объективность субъективного» является содержанием восточных понятий человеческой реальности. Их математическое числовое содержание придает теоретический вес идее экологического мышления.

Энергетика психофизиологии Природы моделируется причинно-рефлексивным кругом, циклической энергетикой, связывающей два подпространства. Он воспроизводит четырехмерность в теории эволюции [11]. Иными словами пространство проявляет себя в виде логических и материальных дополнений.

Для двух точек $u, v \in U$ определены четыре производных комбинациями архимедовой и неархимедовой метрик:

$$E_4 = (d(|u|_\infty, |u|_2) / d(|v|_\infty, |v|_2)) = \{ e_1(R \rightarrow R), e_2(R \rightarrow Z_2), e_3(Z_2 \rightarrow R), e_4(Z_2 \rightarrow Z_2) \},$$

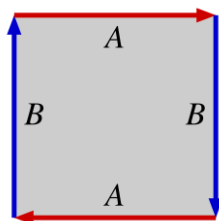
которые образуют причинно-рефлексивный круг. Причем $e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot e_4 \neq 0$ в силу гиперболической связи метрик. Он сопрягает целевую и материальную причины и действует на лезвии хаоса – создании упорядоченных, конвергентных структур – e_3 в условиях их разрушения, дивергенции – e_2 [18]. Механические преобразования – e_1 дополняются информационными, как физика дополняется сегодня теоретической информатикой, и химическими – e_4 преобразованиями. Внешние движения e_1, e_2, e_3 сопряжены с внутренним движением организма e_4 – как «внешнее через внутреннее». Энергетика представляется носителем четырех типов причин и, соответственно, времен $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$. Сопряжение причин и времён обеспечивается инволюцией пространств.

$$\begin{array}{ccc} Z_2 & \xrightarrow{e_4} & Z_2 \\ e_3 \uparrow & & \downarrow e_2 \\ R & \xleftarrow{e_1} & R \end{array}$$

Причинно-рефлексивный круг имеет множество интерпретаций, которые хорошо известны в естествознании как природные циклы, «путь вверх» и «путь вниз» развития и угасания жизни. В биологии локально – метаболизм, в экологии – как замыкающийся круг Б.Коммонера, в психологии – как рефлексивный круг (дуга) и психофизиологическая проблема, в восточных философиях – как действие Дао, Брахмана. Как миф об умирающем и воскресающем Высшем существе – это известный культурный архетип, метафорически связывающий видимый и невидимый миры. Существует целый спектр мифов народов Земли об устройстве Космоса, «волшебного согласованных друг с другом» (Э.Шредингер), в которых рефлексивный круг предстает в различных ипостасях [21]. В целом он структурирует «решение» проблемы Платона о формализации связи движений Целого и Частей. В такой интерпретации эта циклическая причинность может послужить началом

биоморфной интерпретации космоса – Живой Космос, Живая Земля. Также хорошо известен Уроборос как модель космоса.

Геометрический образ рефлексивного круга – есть действительная проективная плоскость RP^2 :



Связная сумма проективных плоскостей техноценозов и экосистем образует бутылку Клейна – одностороннюю геометрию, воплощающую единство *внутреннего и внешнего, микро- и макро-*. Наряду с циклом, круговым движением, лентой Мёбиуса, бутылкой Клейна и, реже, другими односторонними поверхностями, эта геометрия давно присутствует в исследованиях по общей теории систем. Ими иллюстрируют представления о двойственности и парадоксальности объектов системной реальности. Причинные круги как модели природных циклов утверждают биологическую математику как науку образов и пространство антиредукционизма [12].

Психика и мышление

Приведенная выше цепочка изоморфизмов замыкается психической интерпретацией числовой асимметрии.

$$R \times Z_2 \cong \Phi \times \Psi \text{ и}$$

$$U = R \times Z_2 \cong [1cc \times 2cc \cong Techno \times Bio \cong Кантор \times Мириманофф \cong$$

$$\cong \text{редукционизм} \times \text{холизм} \cong \text{отражение} \times \text{проникновение} \cong \text{видимое} \times \text{невидимое}] \cong$$

$$\cong \text{внешний мир} \quad \Phi \times \text{внутренний мир} \quad \Psi \cong \text{Запад} \times \text{Восток}$$

Можно показать, используя детальное и одновременно широкое представление психических процессов Л.М. Веккера [22], Н.И. Чуприковой [23], С.Э. Полякова [24], что числовая асимметрия воспроизводит без дополнительных построений основные свойства психики – чувственную недоступность, очевидность, отражение реальности, рефлекторную теорию, опережающее отражение (П.К. Анохин), предметность (системность). Интроспекция – внутренний взгляд, рефлексия мысли становится объективным процессом и позволяет говорить о том, что человек носит в себе образ внешнего мира и сам находится в нём.

Отдельно следует сказать о том, как действуют нематериальные сущности, которые составляют «восточное» содержание теории. В модели числовой асимметрии физическая, восходящая причинность e_1 и e_3 дополняется информационной, нисходящей e_2 и e_4 , т.е. действием тонкого мира границ, символов, психики. Это есть биологическая, а не техническая обратная связь. Более полное её представление, именно в эволюционном плане, предполагает детальную биологическую интерпретацию четырехмерной циклической энергетики [11]. В этом видится перспектива диагностики (если не

прогнозирования!) отдаленных последствий технического воздействия. При таком подходе экосистема предстает в виде «числового, математического» атласа своего биологического образа.

Подробное представление числовой модели психики слишком объемно. Здесь достаточно сказать, что экологически грамотный, мыслящий обоими полушариями человек – это человек, в сознании которого сформирован адекватный образ Природы (её психическая репрезентация) и в котором он участвует как элемент, включенный во многие рефлексивные (рефлекторные) круги.

Заключение

Рассмотрение экологии как теории предельных вопросов – по широте естествознания и глубине семантики языка – позволяет увидеть контуры обоснования экологического мышления, в котором математика уже не является оппонентом, но служит «интегрирующим множителем». Предлагаемый подход параллелен универсальности человеческой психики и в первом приближении демонстрирует согласие с её основными положениями. Это позволяет уже на формальной основе включить человека во взаимодействие техники и Природы и, соответственно, строить «двухполушарное» биолого-техническое образование.

Список литературы

1. Bouckhart L., Opdebeeck H., Zsonai L. Frugality. Oxford: Peter Lang A.P., 2007. 320 p.
2. Capra F. The Tao of Physics. Boston: Shambala, 2000. 366 p.
3. Chao Ying Shen, Midgley G. Towards Buddhist Systems Methodology – 1 // Syst. Pract. Act. Res., 2007. Vol. 20. pp. 167–194.
4. Macy J. Mutual Causality in Buddhism and General Systems Theory. N.Y.: University Press, 1991. 259 p.
5. Dion M., Pava M. (eds.) The Spirit of Conscious Capitalism. Contribution of World Religions and Spirituality. Springer, 2022. 501 p.
6. Шумахер Э.Ф. Малое прекрасно. Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2012. 352 с.
7. Гачев Г.Д. Космо-Психо-Логос. Москва: Издательская группа «Прогресс-Культура», 1995. 480 с.
8. Хорьков С.А., Маврикиди Ф.И. Системы, ценозы и их модели. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2025. 310 с.
9. Гелашвили Д.Б. и др. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2013. 370 с.
10. Seuront L. Fractals and Multifractals in Ecology and Aquatic Science. CRC Press, 2010. 366 p.
11. Jablonka E., Lamb M.J. Evolution in four dimensions: genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life. MIT Press, 2005. 475 p.
12. Anderson-Tempini J., Dupre J. (eds.) Drawing Processes of Life. Molecules, Cells, Organisms. Intellect, 2023. 364 p.
13. Barwise L., Moss L. Vicious Circles. CSLI Lecture Notes, 1996. 401 p.
14. Kurka P. Topological and Symbolic Dynamics. SMF, 2003. 334 p.
15. Carothers N.L. A Short Course in Banach Space Theory. Cambridge Univ. Pr, 2004.
16. Robert A. A Course in p-Adic Analysis. Springer, 2000. 437 p.
17. Stewart I. The Mathematics of Life. Basic Books, 2011. 407 p.
18. Тринчер К.С. Биология и информация. Москва: Наука, 1965. С. 97–98.
19. Флоренский П.А. Сочинения в четырех томах. Том 3(1). Москва: Мысль, 2000. С. 34–37.

20. Шашков А.М. Метафизика света. Санкт-Петербург: Алетейя, 2012. 365с.
21. Евсюков В.В. Мифы о Вселенной. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1988. 178 с.
22. Веккер Л.М. Психика и реальность. Единая теория психических процессов. Москва: Смысл, 1998. 685 с.
23. Чуприкова Н.И. Психика и психические процессы. Система понятий общей психологии. Москва: Языки славянской культуры, 2015. 608 с.
24. Поляков С.Э. Феноменология психических репрезентаций. Москва-Санкт-Петербург: Питер, 2011. 688 с.
25. Gotsis G., Grimaldi A. Buddhist Spirituality in Economics and Management // Encyclopedia of Diversity, 2013. pp. 157–174.
26. Halley J.M. et al. Uses and Abuses of fractal methodology in ecology // Ecology Letters, 2004. Vol. 7. pp. 254–271.
27. Gartle S., Marshall P., Kauffman S. The Reasonable Ineffectiveness of Mathematics in the Biological Sciences // Entropy, 2025. Vol. 27. 280 p.
28. Герасимова И.А. Природа живого и чувственный опыт // Вопросы философии, 1997. № 8. С.123–134.

УДК 378

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕШАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

Недюрмагомедов Г. Г.

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный педагогический университет»,
г. Махачкала, Россия

Введение. Современная цивилизация и биосфера не в состоянии справиться с вредными отходами, образующимися в результате человеческой деятельности, поэтому рост негативного антропогенного воздействия на природу привел к развитию в начале XXI века «глобального экологического кризиса».

Становление и развитие человеческого общества всегда сопровождалось локальными и региональными «экологическими кризисами» антропогенного происхождения. Угроза уничтожения биосферы, и соответственно жизни приобрела реальные очертания, поэтому перед человечеством стоит цель – выживание его как биологического вида.

Как отмечал А. Печчеи, «истинная проблема человеческого вида в том, что он оказался неспособным в культурном отношении идти в ногу и приспособиться к тем изменениям, которые сам внес в этот мир» [6].

Ставшая реальностью проблема выживаемости человечества, требует новых видов и способов деятельности людей в общепланетарном масштабе, т.е. новой общечеловеческой экологической культуры. Экологическая культура – интегративное прижизненное качество и важнейшее свойство современной личности, как носителя экологических знаний, умений, ценностей и идеалов, определяющая характер и уровень отношений в системе «человек – общество – природа» и проявляющаяся в разнообразных видах экологической деятельности.

Важную роль в экологическом воспитании принадлежит системе школьного образования. Проблемы формирования экологической культуры

школьников изучали ряд отечественных (Глазачев С.Н., Захлебный А.Н., Недюрмагомедов Г.Г., Несговорова Н.П., Семчук Н.М., Суравегина И.Т., Тюмасаева З.И. и др.) [5] и зарубежных (У. Бронфенбреннер, Тодорина Д.Л., Янакиева Е.К. и др.) [8] специалистов, однако проблемы формирования основ экологической культуры граждан, в том числе и у школьников не решены.

Анализ теории и практики школьного экологического образования, позволил выявить *противоречие*:

- между потенциалом школьных естественных наук в формировании экологической культуры учащихся и существующими педагогическими условиями его реализации на основе естественнонаучного содержания в образовательном пространстве школы;

- между потребностью в применении современных образовательных технологий в процессе формирования экологической культуры школьников на основе естественнонаучного содержания школьных дисциплин, – и отсутствием апробированных технологий применимых в урочной экологической деятельности, адаптированных к школьному возрасту.

Наличие указанных противоречий обуславливает *проблему исследования*, которая заключается в теоретическом обосновании образовательных технологий и педагогических условий, в процессе формирования экологической культуры школьников на основе естественнонаучного содержания школьных дисциплин в условиях урочной и внеурочной деятельности.

Основная часть. «Глобальный экологический кризис» (или «планетарный») – это глобальные, часто необратимые изменения окружающей среды (изменения климата, суши, океана, потеря биоразнообразия и др.), происходящие вследствие бесконтрольного прагматического (пользовательского) отношения человека к природе (Гагарин А.В.) [4].

«Глобальный экологический кризис» можно представить, как цепочку неконтролируемых событий: «рост населения → интенсификация природопользования → нарушение биогеохимических циклов → загрязнение среды (+ изменение лика планеты) → утрата местообитаний → разрушение биоразнообразия → деградация экосистем → нарушение территориального и компонентного равновесия биосферы → угроза существованию человечества» (Бродский А.К., Сафронова Д.В.) [2].

Озабоченность мировым сообществом экологическими и другими кризисами – показатель необходимости повысить статус и признать приоритет «экологического образования», целью которого является «экологическая культура» личности и общества.

Реализация содержания экологического образования (в том числе в школах Дагестана), возможна на основе трех моделей – однопредметной, многопредметной и смешанной, из которых первые две основываются на знаниевой парадигме, а третья – на культуросообразной. «Смешанная модель» имеет больше возможностей, для формирования «экологической культуры»: все предметы вносят свой вклад, но координирующая роль – у «экологии» (или «региональной экологии»). «Смешанная модель» в дагестанских школах реализуется «по горизонтали»: учебный предмет («Экология» или «Экология

Дагестана», а счет часов школьного компонента) + экологизация естественнонаучных дисциплин (биология, химия, физика, география и др.) + внеклассная работа по экологии.

Понятие «экологическая культура» ученые трактуют неоднозначно (в содержание понятия вкладывается различный смысл), однако наиболее совокупным представляется определение *экологической культуры* как «неотъемлемая часть общечеловеческой культуры, включающая систему социальных отношений, моральных ценностей, норм и способов взаимодействия общества с окружающей природной средой, преемственно формируемая в общественном сознании и поведении людей на протяжении жизни и деятельности поколений непрерывным экологическим образованием и просвещением, способствующая здоровому образу жизни, духовному росту общества, устойчивому социально-экономическому развитию, экологической безопасности страны и каждого человека» (Проект ФЗ РФ «Об экологической культуре» № 90060840-3) [7].

Формируя экологическую культуру школьников, необходимо учитывать возрастные особенности этого периода. Это связано с тем, что школа охватывает все население в том возрасте, когда удачно сочетаются любознательность с уже возникающими способностями к анализу явлений, а длительность обучения позволяет использовать разнообразные методы, технологии и условия опираясь на рекомендации возрастной педагогики и психологии.

Возрастные особенности школьников, с одной стороны, способствуют, а с другой стороны, осложняют процесс формирования экологической культуры в процессе учебной деятельности. В структуре экологической культуры школьников можно выделить четыре взаимосвязанных компонента (когнитивный, эмоционально-эстетический, ценностно-смысловой и деятельностный).

Наиболее эффективной педагогической технологией, способствующей формированию экологической культуры школьников является «смешанное обучение» (с англ. яз. «*blended learning*» – смешивать) – форма обучения, совмещающая традиционное обучение в ходе личного общения (лицом к лицу, face-to-face) с обучением посредством применения компьютерных технологий».

Смешанное обучение имеет широкое значение и понимается как «...последовательность согласованных действий и операций, совершаемых педагогом и учащимися для достижения поставленной образовательной цели (с применением цифровых и традиционных образовательных ресурсов, средств и коммуникаций) (Бордовская Н.В., Кошкина Е.А. и др.) [1].

Учитель экологии/биологии выстраивает учебную деятельность учащихся так, чтобы они осваивали определенную часть материала изучаемого параграфа самостоятельно, с помощью дистанционных технологий. На уроке же учитель работает с теоретически подготовленными учениками, что высвобождает время для практического применения знаний, выполнения лабораторных работ, проведения опытов и т.д.

Эффективность формирования экологической культуры, с помощью «смешанного обучения» может проявляться на личностном, организационном и профессионально-педагогическом уровнях:

– на личностном уровне: повышение результативности освоения учебного экологического материала, уровня учебной мотивации, удовлетворенности качеством обучения экологии в целом;

– на организационном уровне: оптимизация учебного процесса на уроках естественнонаучных дисциплин с помощью цифровых и традиционных образовательных технологий и проектирования образовательного процесса с учетом их дидактического и воспитательного потенциала;

– на педагогическом уровне: готовность учителей к осуществлению учебного процесса в смешанном формате с применением цифровых и традиционных образовательных технологий [9].

Выводы. Экологическое воспитание школьников должно быть направлено на формирование основ экологической культуры. Используя подход, предложенный Вергелес Г.И. [3] нами предложена проверенная система педагогических условий формирования экологической культуры школьников:

- социально-значимая экологическая и природоохранная деятельность;
- взаимосвязь методической и содержательно-деятельностной стороны формирования экологической культуры;
- активизация экологической и природоохранной деятельности;
- повышение уровня эколого-педагогической подготовки учителей биологии (экологии) и других естественнонаучных дисциплин;
- педагогические технологии (в частности – «смешанное обучение»), методы и средства будут соответствовать виду и содержанию учебной деятельности школьников.

Список литературы

1. Бордовская Н.В., Кошкина Е.А., Тихомирова М.А. и др. Смешанные образовательные технологии в высшем образовании: систематический обзор отечественных публикаций // Высшее образование в России, 2022. Т.31. № 8-9. С. 58–78.
2. Бродский А.К., Сафронова Д.В. Глобальный экологический кризис: взгляд на проблему через призму биоразнообразия // Биосфера, 2017. Т.9. № 1. С. 48–70.
3. Вергелес Г.И., Конева В.С. Младший школьник: учим учиться (система формирования учебной деятельности). СПб.: РГПУ, 2007. 180 с.
4. Гагарин А.В. Теория и менеджмент экологического образования. М.: Изд-во «Социум», 2002. 160 с.
5. Недюрмагомедов Г.Г. Формирование экологической культуры учеников общеобразовательной школы // Годишник на Шуменския университет «Епископ Константин Преславски», Факултета по хуманитарни науки. Материали от юбилейната международна научна конференция „Хуманитаристиката – традиции и предизвикателства“ (11-13 мая 2022 г. Shumen). Том XXXIII А/1, Лингвистика, превод, медийни изследвания и методика на обучението. Шумен, 2022. С. 346-351.
6. Печчеи А. Человеческие качества. М.: Прогресс, 1985. 310 с.
7. Федеральный закон РФ "Об экологической культуре". Проект // Экос-информ, 2000. № 9-12 (том II). С. 13–34.
8. Янакиева Е.К. Форми за организация на екологическото възпитание в детската градина. Благоевград: ЮЗУ, 2006. 154 с.
9. Vaughan N., Reali A., Stenbom S. et al. Blended learning from design to evaluation: International case studies of evidence-based practice. // Online Learning, 2017. № 21(3). pp.103-114.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ШКОЛЬНИКОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ИНТЕРАКТИВНЫХ УРОКОВ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Осипова Г. В. Дружакина О. П.

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

Общие положения

Экологическая повестка сегодня четко определяет приоритетные направления развития современного общества и одна из самых актуальных задач нашего времени – формирование экологической культуры населения. На начальном этапе проекта в качестве целевой аудитории рассматриваются школьники.

Новое время диктует новые форматы образовательных программ для школьников, такой как например, экологическое воспитание и просвещение на маршруте экологической тропы, что особенно актуально для особо охраняемых территорий, обладающих неиссякаемым образовательным потенциалом.

Экологическая тропа – это специально оборудованный и особо охраняемый прогулочно-познавательный маршрут, созданный с целью экологического просвещения населения. [1] Знания, которые школьники смогут получить на тропе, тесно связаны с программным материалом общеобразовательных учреждений.

Перед БУ УР «Дирекции ООПТ регионального значения Удмуртской Республики» ТО Удмуртским ботаническим садом поставлена одна из ключевых задач – экологическое просвещение – воспитание бережного отношения к природе, проведение экскурсий, создание экологических троп, знакомящие посетителей с уникальными природными объектами на территории Сада. Грамотно спланированное обустройство и информационное сопровождение экологических троп позволит получить максимальное количество знаний о процессах, происходящих в окружающей среде, и будет способствовать формированию мировоззрения, нацеленного на сохранение и рациональное использование природных богатств.

Удмуртский ботанический сад является особо охраняемой природной территорией общей площадью 686,93 га, из которых 327,4 га представляют собой лесные угодья с растительными фондами, насчитывающими 562 дикорастущих таксона сосудистых растений видового уровня, что составляет треть всей флоры Удмуртии. Он находится в 30 км от города и удален от вредных производств. В заповедных лесах Ботанического сада встречаются уникальные деревья-долгожители: ели, сосны, осина, вязы, липы, некоторые из них поражают своими впечатляющими размерами. Большая территория помогает сохранить популяции дикорастущих видов растений, многие из которых считаются редкими, реликтовые, эндемики и субэндемики Урала, а два вида занесены в состав «Красной книги Удмуртской Республики» и 9 видом сохраняются в «Красной книге Российской Федерации» [2].

Актуальность темы обусловлена решением задач в рамках национального проекта «Экологическое благополучие» и проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» (2025–2030 гг.). Стратегия развития туризма до 2035 года называет экологический туризм одним из приоритетных направлений. Актуальности разработки новых форматов обучения школьников на природе и ростом экологического сознания. После пандемии внутренний туризм стал альтернативой зарубежным поездкам, а внимание к здоровому образу жизни и экологии – новым стандартом отдыха. (Цифровая гигиена, усталость от городского темпа жизни и суеты, снижение стресса от темпа жизни).

Актуальность также определяется ростом спроса на семейные форматы отдыха и туризма. Родители хотят дать детям опыт живого взаимодействия с природой и сформировать экологическое мышление. Экотропы оборудованы информационными стендами, игровыми элементами и зонами отдыха, что делает их привлекательными для семей с детьми.

Цель проекта: разработка программы экологического просвещения при прохождении маршрута по особо охраняемым природным территориям Удмуртского ботанического сада.

Задачи проекта:

1. Разработка маршрута экологической образовательной тропы на территории Удмуртского ботанического сада.
2. Разработка проекта благоустройства экотропы.
3. Разработка методического кейса интерактивных уроков на ООПТ Удмуртского ботанического сада, проходя маршрут экологической тропы.
4. Определение рекреационного потенциала экотропы на территории Удмуртского ботанического сада.

Экотуризм растёт быстрее обычного туризма — до 2030 года его темпы будут достигать 15% в год (пишет Forbes) [3]. В России за последние четыре года число экотуристов выросло почти вдвое. В 2025 году численность людей, посетивших заповедники и ООПТ превысило 22 млн, что наглядно представлено на графике рисунка 1.

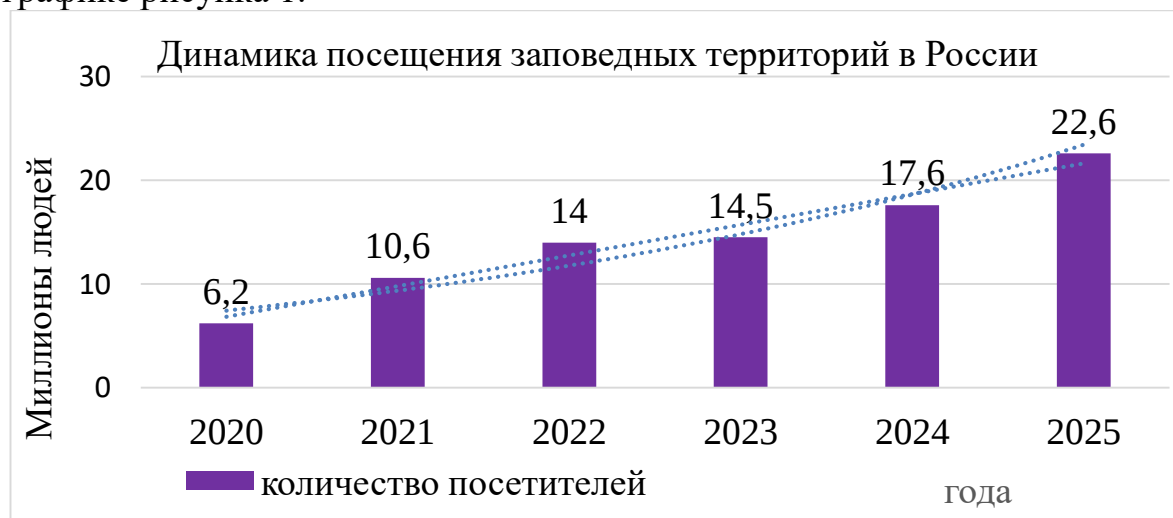


Рисунок 1 – Динамика посещения заповедных территорий в России

В Удмуртии сильно развивается природный и историко-культурный туризм. В 2025 году туристический поток достиг 1,9 млн человек, что отображается на графике рисунка 2 [4].

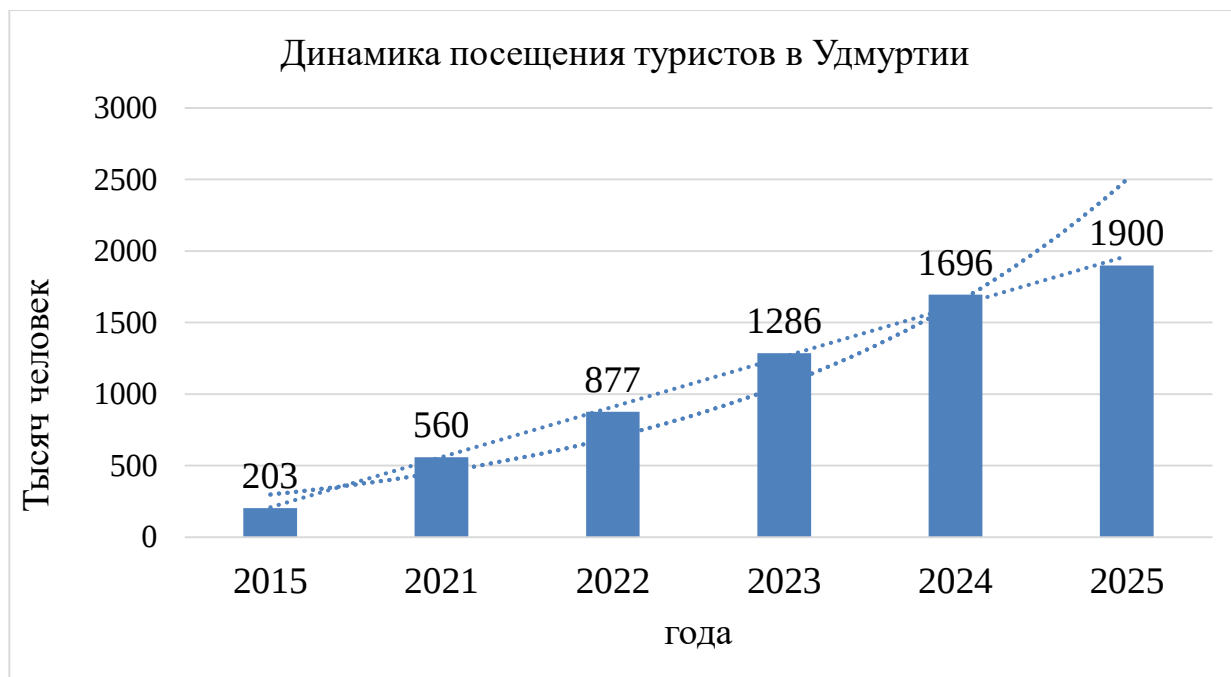


Рисунок 2 – Динамика посещения туристов в Удмуртии

Природный и историко-культурный потенциал Удмуртии способствует развитию многих видов туризма:

1. культурно-познавательный
2. охотничье-промысловый
3. активный (спортивно-оздоровительный)
4. лечебно-оздоровительный
5. экологический
6. деловой
7. сельский
8. событийный

Создание на территории Удмуртского ботанического сада экологической тропы протяженностью 6 км позволит расширить знания школьников об объектах и процессах окружающей нас природы. По мимо информации о живой и не живой природе, необходимо школьников научить наблюдать и замечать явления природы, видеть прекрасное и удивительное в самых обычных живых объектах. Познавательные прогулки по экотропе будут способствовать воспитанию экологической культуры населения, разовьёт экологическую сознательность, закрепит правила поведения на природе.

Сотрудники Всемирной Организации Здравоохранения на основании многих исследований, подсчитали, что 6 км или 10 000 шагов ежедневной пешей прогулки помогут предотвратить развитие целого ряда заболеваний. В их числе не только остеопороз, сахарный диабет, гипертония, но и кардиомиопатия и некоторые виды рака. Однако, для разных возрастных групп эти показатели различны. Например, дети в возрасте от 5 до 10 лет могут без труда проходить до

11 000-15 000 шагов, подростки – 12 000 – 20 000, взрослые – от 5 000 до 10 000, пожилые – от 3 000 до 5 000 [5].

Экологическая тропа протяженностью 6 км будет относиться к прогулочной категории, так как её можно пройти за 1 день. Путешествую по маршруту поможет отключиться от повседневной жизни и насладиться живой природой, что особенно важно для школьников, оторвав их от экранов телевизоров/компьютеров/телефонов, перезагрузиться за счёт комплексного воздействия на физическое, психологическое и когнитивное состояние. С психическими расстройствами сталкиваются миллионы людей, в том числе и в школьном возрасте. Пандемия коронавируса лишь обострила проблему – только в России депрессивные симптомы, фобии и другие проблемы наблюдались у 80 % школьников [6].

Команда специалистов из Университетского и Имперского колледжей Лондона решила выяснить, насколько прогулки в лесу благотворны для детской психики. Ученые использовали данные о 3568 детях от 9 до 15 лет из 31 школы Лондона, чье психическое состояние оценивалось в 2014-2018 годах. Этот возраст – ключевой в развитии мышления, рассуждений и миропонимания школьников, что показало *результаты в среднем на 16 % выше показатели интеллектуальных способностей и стрессоустойчивость* [7].

В начале мая 2026 года в Общественной палате предложили чаще проводить занятия для младших школьников на свежем воздухе, подобные занятия помогут детям лучше понять окружающий мир, а также пробудят интерес к естественным наукам и истории. Кроме того, они разовьют любознательность и научат бережнее относиться к природе. Особенно для начальной школы занятия в природной среде способны улучшать концентрацию и уменьшать отвлекаемость, особенно в зеленой зоне, где ниже когнитивная нагрузка. Для первоклассников такой формат может также облегчить привыкание к школе и снизить стресс [8].

Экологическая тропа выполняет следующие задачи:

1. Познавательная и обучающая задача экологической тропы предполагает погружение в мир живой и неживой природы, знакомство с представителями растительного и животного мира, исследование взаимодействия между живыми организмами и условиями среды, а также анализ влияния человека на экосистемы.

2. Развивающая задача экологической тропы заключается в том, чтобы содействовать развитию у школьников наблюдательности, аналитического мышления, восприятия гармонии окружающего мира, раскрытию творческого потенциала.

3. Воспитательная задача состоит в формировании мировоззрения, развитии экологической культуры. Школьники, знакомясь с природой родного края, видят ее красоту и уязвимость, осознают, что каждый ее элемент является неотъемлемой частью экосистемы.

4. Оздоровительная задача экологической тропы реализуется благодаря нахождению на свежем воздухе, в окружении природных объектов, что способствует активному отдыху на природе и психологической разгрузке [9].

Этапы реализации проекта:

1. Подготовительно-организационный (анализ проблемы по созданию экологической тропы, постановка общественно-значимой цели, определение задач и объема работ, порядка действий).

2. Проектировочный (изучение литературы по организации экологической тропы, составление общего плана работы по созданию тропы).

3. Поисково-исследовательский (исследование местности, выбор маршрута тропы, выявление экскурсионных объектов и остановок, изучение видового состава растений и животных изучаемой территории).

4. Практический (прокладка маршрута, составление картосхемы, паспорта экологической тропы, разработка программы мероприятий учебной экологической тропы, создание плана практического использования объектов, тематики и текстов экскурсий и тематических уроков по окружающему миру/зоологии/биологии, правил поведения, подготовка экскурсоводов).

5. Оформление (создание информационных путеводителей, изготовление и оформление информационных аншлагов, табличек, указателей).

6. Благоустройство экологической тропы (обустройство и укрепление троп, установление информационных аншлагов, указателей, табличек, мест отдыха, площадок для познавательной активности).

7. Заключительный. Начало работы тропы (открытие экологической тропы, проведение экскурсии).

8. Перспективный (расширение тропы, создание новых объектов).

Экологическая тропа будет проходить по видовым точкам и объектам Удмуртского ботанического сада (рисунок 3). К видовым точкам можно отнести:

1. Растения.
2. Участки, где можно увидеть животных и следы их пребывания.
3. Участки с интересными объектами неживой природы.
4. Участки для отдыха.

Чтобы оценить перспективы проекта, необходимо провести SWOT-анализ – это метод стратегической оценки, который помогает проанализировать текущее положение с учётом внутренних и внешних факторов. Так же мы должны определить риски проекта.

Риски:

1. Риск дополнительных расходов на строительство и содержание объектов, обслуживание оборудования

2. Политическая/эпидемиологическая обстановка

3. Погодные условия

4. Технологический риск (связанный с использованием оборудования)

5. Риск нехватки квалифицированного персонала

6. Риск неплатежеспособности покупателей

7. Риски, связанные с поставщиками и производителями

8. Удаленность от города

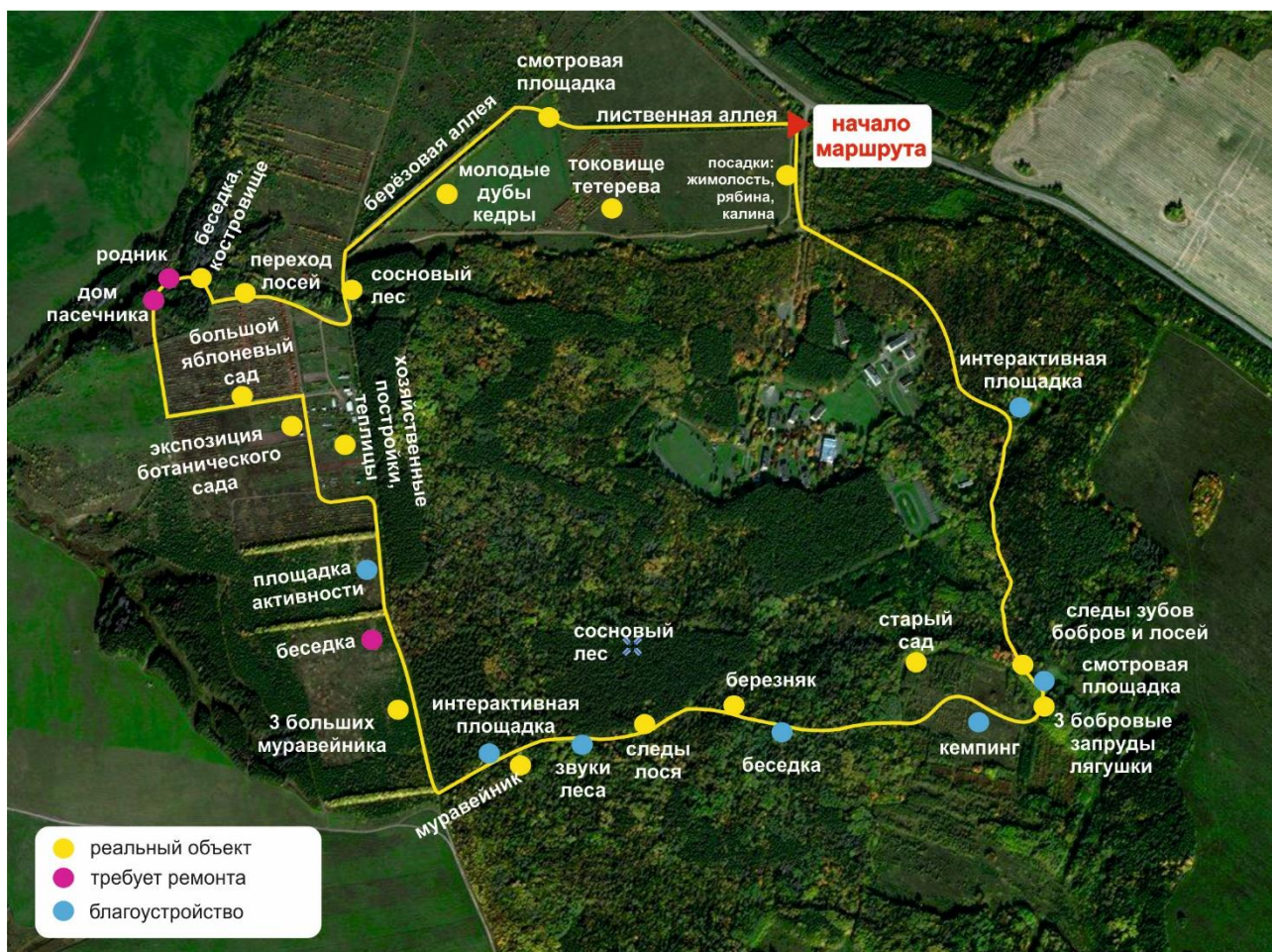


Рисунок 3 – Проектируемая экотропа на 6 км

Таблица 1 – SWON анализ

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Природно – экологический потенциал территории, большая территория с различным рельефом. 2. Коллекции 120 видов редких растений. 3. Проведение экскурсий и МК в живописном месте с привлечением специалистов. 4. Оздоровительные прогулки в познавательном формате, экскурсии в интересной динамичной форме для детей.	1. Отсутствие в штате гида-экскурсовода. 2. Удаленность территории от города и низкая транспортная обеспеченность маршрута. 3. Недостаточно развитая инфраструктура на территории ООПТ. 4. Большие вложения на начальном этапе. 5. Низкая оплата труда работников бюджетной сферы Дирекции ООПТ.
Возможности	Угрозы

1. Привлечение туристов из соседних регионов, привлечение инвестиций и сотрудничество с турагентствами. 2. Создание коллабораций и сотрудничество с университетами. 3. Создание собственного узнаваемого бренда. 4. Привлечение местных жителей к работам на ООПТ, сокращение безработицы на границах, развитие малого бизнеса. 5. Улучшение качества услуг за счет обновления материальной базы, подготовки и переподготовки кадров.	1. Конкуренция с более развитыми организациями, такими как парк «Нечкинский», «Лудорвай». 2. Ухудшение ситуации в регионе из-за угроз «Опасное небо». 3. Конфликты с местными жителями, из-за запрета или строгого регулирования строительства, выпаса скота, сбора грибов и ягод, заготовки дров и передвижения на территориях, прилегающих к ООПТ. 4. Возможное ухудшение экологической обстановки в связи с увеличением количества туристов.
---	--

Разработка стратегий развития проекта:

S-O Привлечение большого числа туристов на счет проведение интересных мастер-классов, лекций, уроков на природе и экскурсий по уникальной экспозиции ботанического сада в экологическом чистом районе. Сотрудничество с блогерами, фотографами, спикерами

W-O За счет вовлечение местных жителей в работу ООПТ снизится безработица, и измениться их негативное отношение. Приток квалифицированных кадров в сфере туризма можно компенсировать вовлечением студентов и вовлечение в работу местных жителей, создавая для них новые рабочие места, например, обучить ведению экскурсий.

S-T Создание виртуального каталога и маршрута. Для снижение антропогенной нагрузки, рассчитать максимальное количество посетителей экспозиции сада. Возможность подключение к офлайн-урокам, оформив подписку на продукт.

W-T Важно развить инфраструктуру на территории ООПТ (оборудование дорожек, экологических троп, мест отдыха, знаков навигации), что позволит контролировать рост антропогенной нагрузки и повысит туристскую привлекательность Удмуртского ботанического сада в сравнении с более развитыми в плане туризма ООПТ.

Идеи для проекта:

1. Создание тематических эконоуроков по окружающему миру, природоведению, биологии, ботаники, географии, экологии.

2. Благоустройство нескольких троп по территории ботанического сада.

3. Создание цифрового двойника экологических троп Удмуртского ботанического сада (виртуальные прогулки по территории сада).

4. Внедрение оборудования для использования возобновляемых источников энергии (установка солнечных батарей, сбор дождевой воды).

5. Установка QR-кодов для получение информации о том или ином растении, животных.

6. Разработка и внедрение покет-модов (карта-бродилка-загадка) для закрепления пройденного материала во время тематического урока.

7. Работа со школами и летними лагерями.

8. Сотрудничество с крупными компаниями и поиск партнёров для реализации проекта, написание гранта.

Заключение

Экологический туризм в России становится устойчивым трендом с приростом 15 % в год. На фоне растущего интереса населения к изучению местной природы, культуры, познавательной активности у детей и подростков, а также внимания молодого поколения к ответственному отношению к природе, спрос на природный экотуризм будет продолжать расти.

Игровые познавательные форматы экологического просвещения на экотропе превратят просвещение из пассивного усвоения информации в активный, созидательный процесс, где школьники не только учатся, но и сами становятся носителями и распространителями экологической культуры.

Формируя экологическую культуру школьников, мы сможем вырастить новое поколение, которое будет бережно относиться к природе, что в свою очередь приведет к снижению разрушительного экологического последствия потребительского человеческого отношения и даст шанс сохранить красоту природы для будущих поколений.

Для реализации проекта по созданию экологических уроков на маршрутах, проложенных на территории Удмуртского ботанического сада, необходимы крупные инвестиции как от государства, так и от бизнеса. Необходимо расширять линейку предлагаемых услуг (открытие новых маршрутов экотроп, кемпингов, мастер-классы направленных на разный возраст).

Список литературы

1. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Слов.-справ. –М.: Просвещение, 1992. с. 265.
2. ПОЛОЖЕНИЕ об особо охраняемой природной территории регионального значения «Удмуртский ботанический сад».
3. Sber.pro [электронный ресурс] / Экотуризм в России: как развивается рынок и в чём его особенности. Режим доступа: <https://sber.pro/publication> (дата обращения:03.04.2026).
4. Сетевое издание «Коммерсантъ» [электронный ресурс] / Турпоток в Удмуртии. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc> (дата обращения:03.04.2026).
5. ФБУЗ «Центр гигиенического образования населения» Роспотребнадзора [электронный ресурс] / Ходьба с пользой для здоровья. Режим доступа: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu> (дата обращения:04.05.2026).
6. Организация Объединенных Наций [электронный ресурс] / Кризис COVID-19 и проблемы ментального здоровья среди молодежи: статья-мнение. Режим доступа: <https://www.un.org/ru/162632> (дата обращения:03.05.2026).
7. Газета. Ру [электронный ресурс] / Природная психотерапия: чем жизнь рядом с лесом полезна для детей. Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/science> (дата обращения:03.05.2026).
8. «МЕЛ» - современное медиа [электронный ресурс] / В Совфеде предложили проводить уроки на улице для всех школьников. Режим доступа: <https://mel.fm/novosti> (дата обращения:06.05.2026).
9. Прокопьев А.С., Чернова О.Д., Гришаева Е.С. и др. Экологическая тропа: обустройство и назначение. Учебно-методическое пособие. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. 9–10 с.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНТЕНСИВ НА БАЗЕ ИНСТИТУТА ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ КАК ФОРМАТ ПРОФИОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ

Стяжкина И. С, Дружакина О. П.

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

Общие положения. Цель проекта: вовлечение старшеклассников в процесс решения реальных экологических и градостроительных задач путем разработки коллективного проекта благоустройства территории сквера Гоголя (г. Ижевск) с использованием цифровых технологий и профессионального оборудования.

Современные ученики старших школ, выбравшие те или иные образовательные профили выпускных классов, видят профессиональный мир под углом своего направления. Например, если ученик старшей школы выбирает в качестве профиля экологию и не имеет широкого представления данного направления, то он будет утверждать, что экология изучает взаимодействие организмов с окружающей средой. А сегодня включает и практические методы контроля за состоянием окружающей среды – экологическое прогнозирование, моделирование и мониторинг, природообустройство и инженерную охрану окружающей среды, учение о биогеоценозах и антропогенных воздействиях на природные экосистемы, эколого-экономические и эколого-социальные аспекты. Вопросы экологической повестки являются важными в деятельности промышленных, технологических, производственных отраслей Российской Федерации. Область проектной деятельности в рамках направления сосредоточена на изучении оптимальных способов использования науки и образования для решения глобальных и взаимосвязанных проблем, таких как изменение климата, утрата биоразнообразия, «зеленая» и «циркулярная» экономика, технологический прогресс и формирование устойчивых отношений с планетой на основе образования [5].

В связи с таким ограниченным представлением о профессиональной деятельности обучающийся становится заложником той системы образования, которая убедила его, что его профиль – программирование и информатика – подразумевает только выполнение определенных задач и монотонной работы, без проектов, общественных мероприятий [2].

Поэтому в настоящее время старшеклассники стремятся к личностному развитию. Согласно статистике по России:

78 % старшеклассников (10–11 классы) посещают хотя бы один кружок или курс дополнительного образования. Они активно участвуют в дополнительном обучении, курсах, конкурсах и значимых мероприятиях, связанных с их интересами. Они учатся выступать публично, вести дебаты и правильно презентовать свои проекты.

Статистика подтверждает: стремление старшеклассников к личностному развитию – устойчивый тренд. Ключевые показатели:

1. высокий охват дополнительным образованием (78 %);

2. активное участие в конкурсах (62 %);
3. регулярная практика публичных выступлений (85 %).

Ключевые тенденции:

1. Рост интереса к проектным и исследовательским конкурсам. Участие в таких мероприятиях (например, «Большие вызовы») выросло на 25 % за 2022–2024 гг.

2. Цифровизация. 30 % курсов и тренингов по развитию soft skills (включая риторику) теперь проходят онлайн.

3. Ранняя профориентация. 60 % старшеклассников выбирают дополнительные занятия, связанные с будущей профессией.

4. Поддержка школ. 70 % школ внедряют программы развития лидерских качеств и ораторского мастерства.

Методические подходы. Статистика и ключевые тенденции подтверждают формирование метапредметных (надпрофессиональные) компетенций – это компетенции, которые будут востребованы в любой будущей практической деятельности. Например, к ним относятся:

1. Экологическая грамотность;
2. Проектная компетенция;
3. Коммуникативная компетенция;
4. Критическое и креативное мышление;
5. Мотивация на саморазвитие, достижения и успех.

Метапредметные компетенции – это умение планировать, работать в команде, анализировать информацию, рефлексировать. Именно такие навыки востребованы в современном мире и лежат в основе успешного профессионального самоопределения [3].

Профессиональное самоопределение – один из важнейших этапов в жизни школьников. Комплекс профориентационных мер представляет собой систему взаимосвязанных компонентов, состоящая из профессионального просвещения, профессионального воспитания, профессионального обучения, профессионального консультирования, профессионального развития личности. [2]. От того, насколько он будет иметь представление о своей специальности зависит его удовлетворенность трудом, раскрытие творческих и профессиональных качеств. Поэтому ещё в школе закладывается ранняя профориентация, которая представлена в разных форматах от традиционных до инновационных.

Примерами традиционных форматов являются профессионально – диагностическая беседа, профориентационные деловые игры, профессиограммы и анкетирование, встречи с представителями различных профессий, успешными выпускниками, а также проведение конкурсов по профориентации в образовательных учреждениях и т.д.

Одним из эффективных форм для знакомства с будущим работодателем, считается экскурсии на производство, обеспечивающая связь между знаниями, полученными в ходе освоения школьных дисциплин и которые требует рынок труда.

Площадка профориентационной работы, с помощью которой можно

заходить и предлагать свой формат профориентационной работы платформа «Билет в будущее». Данный проект реализуется задач в нашей стране с 2018 года по ранней профессиональной ориентации учащихся 6-11-х классов общеобразовательных организаций [4].

Форматы, которые описаны в проекте могут быть зарегистрированы на платформе «Билет в будущее».

В рамках разрабатываемого проекта предлагается два формата профориентационной работы – интенсивы, в формате трехдневной программы подряд, либо более протяженный интенсив в 3 субботы. Исходя из цели проекта мотивация и целеполагание играют ключевую роль в их подготовке. Они ставят перед собой цели, разрабатывают планы действий и эффективно управляют своим временем, чтобы достичь желаемых результатов.

Их интересуют экологические проблемы, рациональное использование природных ресурсов, технологии устойчивого развития, цифровые решения в строительстве и городской среде.

Ценностные предложения: для вовлечения этой группы важно создать образовательную программу, включающую интерактивные мероприятия (работу с цифровыми продуктами, измерительными приборами), включить создание проекта, направленного на благоустройства территории вуза Удмуртского государственного университета, возможность практического участия в реальных городских инициативах и возможность показать собственные идеи.

Формат мероприятий должен сочетать теоретические знания с возможностью применить их на практике, обмен опытом от преподавателей университета, что позволит повысить привлекательность программы среди учащихся.

Вследствие чего предлагается использовать такой формат мероприятия, как интенсив, направленный на формирование профессиональных навыков у обучающихся 10–11 классов г. Ижевска в сферах природообустройства, урбанистики и цифрового градостроительства.

В зависимости от формата проведения интенсива 3 субботы, 3 дня подряд составлены 2 SWOT-анализа для оценки эффективности проекта.

SWOT-анализа интенсива «3 дня подряд» (Вечер четверга + пятница (полный день) + суббота (полный день).

Рассмотрим сильные стороны такого формата интенсива «3 дня подряд»:

1. Школьники полностью погружены и сконцентрированы на проекте в течение 3 дней, полная прокачка знаний, умений и навыков;

2. Сплочённость команд, ребята успевают сработаться, что повысит качество итогового продукта;

3. Меньше логистических «разрывов»: не нужно заново собирать группу и вспоминать материал через неделю.

Слабые стороны (Weaknesses):

1. Высокая интенсивность и утомляемость (два целых загруженных дня) может повлиять на качество защиты проекта;

2. Недостаточное количество времени на обдумывание инженерных решений;

Возможности проекта (Opportunities) – благоприятные факторы внешней среды, которые бизнес может использовать для достижения своих целей. Это могут быть новые тенденции, изменения на рынке или ослабление конкурентов.

1. Качественная обратная связь: преподаватели и эксперты могут дать развернутую консультацию и оценку каждой из 5 групп в завершающий день интенсива;

2. Школьники с данными проектами могут участвовать в других значимых мероприятиях региона и страны, разрабатывая концепцию благоустройства;

3. Участники живут проектом 3 дня, что усиливает каналы связи между обучающимися и преподавателями, студентами и создаётся позитивное воспоминание о вузе.

Ниже представлены угрозы (Threats), то есть внешние факторы, которые могут повлиять на реализацию проекта:

1. Конкуренция со стороны аналогичных проектов, другие организации, возможно, предлагают не только разработанную программу интенсива, но и выезд в лагерь, что более привлекательно для формата выходного дня;

2. Погодный фактор: если погода ухудшается, то практические работы придётся адаптировать в условиях лабораторного оборудования;

3. В завершающий день часть участников может не прийти из-за сильной нагрузки за предыдущие два дня.

На основе составленного SWOT-анализа интенсива «3 дня подряд» можно предложить 2 стратегии развития, направленные на усиление преимуществ и минимизацию рисков.

Стратегия 1. «Качественное погружение и значимый результат». Стратегия заключается в том, чтобы максимально использовать преимущества трёхдневного интенсива, такие как глубокое погружение в тему и формирование сплочённой команды. Это позволит создать качественный итоговый продукт и снизить риски утомляемости и потери мотивации участниками.

В первый блок мероприятий, направленных для развития стратегии №1, связаны с оптимизацией времени и управлением ресурсов энергии участников программы интенсива. Необходимо в расписание 1 и 2 дня включить короткие блоки физической активности, чтобы бороться с физической утомляемостью. Кроме того, разбить дни на модули с продолжительностью около 1,5-2 часа с перерывами.

Отдельно можно выделить этапы рефлексии, участники обсуждают, что сделано, какие ощущения от проделанной работы, и планируют дальнейший ход действий на следующий день. Это компенсирует недостаток времени на обдумывание в течение дня.

В программе мероприятий отражен пункт, как повышение мотивации и вовлечённости, задача организаторов - «анонсировать» в начале интенсива, что лучшая команда получит не только диплом, но и возможность презентовать свой проект на региональном уровне и получить сувенирную продукцию. Чтобы защита проектов прошла без сильного волнения, необходимо защиту акцент с

«защиты» в последний день на «демонстрацию» работающего прототипа или концепции вечером 2 дня. Это снижает риск неявки в последний день и позволяет участникам отдохнуть после сдачи проекта.

Стратегия 2. «Гибкость и реализация дальше». Суть стратегии: превращение угроз (погода, конкуренция) в новые возможности за счёт разработки двух сценариев проведения интенсива.

Подробно описывая стратегию № 2, она состоит из следующих мероприятий, а именно: разработка 2 сценариев, то есть 2 форматов интенсива: «полевой», если позволяет погода, и «лабораторный» полностью с использованием технического и лабораторного оборудования. Тем самым погодный риск превращается в возможность адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды.

Второе мероприятие «Интенсив +» ориентировано на конкурентов, которые предлагают аналогичный профориентационный проект с выездом в лагерь. В нашу программу добавляется экскурсия на центральную площадь города Ижевска на объект благоустройства для того, чтобы сделать программу насыщенной и не ограничиваться территорией университета.

Завершающие два мероприятия «Цифровая доработка проектов» и «Цифровое продолжение» проводятся с целью доработки, улучшения концепции проекта благоустройства. Проекты, разработанные на данных мероприятиях, имеют большой потенциал для развития, но иногда имеют недостаточно проработанную стратегию продвижения в связи с окончанием учебного года у школьников.

Также привлечение внимания СМИ может принести публичность и потенциальное финансирование или грантовую поддержку, кроме того, школьники имеют возможность зарекомендовать себя перед потенциальным работодателем для дальнейшего трудоустройства и получить дополнительные баллы при поступлении в университет на инженерно-экологические специальности.

Рассмотрим формат «3 субботы» аналогично с помощью SWOT-анализа.

Сильные стороны:

1. Проработанный материал (наличие перерыва между занятиями недели позволяет школьникам лучше усвоить теорию, ознакомиться с дополнительной литературой);

2. Гибкость для преподавателей: могут скорректировать программу в свободное время после рефлексии в течение рабочей субботы;

3. Уменьшение утомляемости позволяет сохранить качественную работу и продуктивность на каждом занятии.

Слабые стороны:

1. Потеря эффективности командной работы (выбывание члена команды) из-за недельного перерыва между занятиями;

2. Погодные условия могут измениться за неделю. Например, в первый день интенсива погода солнечная, а через неделю, когда планируется проведение полевых измерений, она может ухудшиться;

3. Мотивационный спад. Первая суббота прошла ярко и запомнилась, а вторая суббота кажется далекой. За это время могут произойти события, которые снизят желание участвовать в проекте.

4. Низкая узнаваемость среди школ: отсутствие сформированного имиджа и недостаток информационного-просветительского формата.

Возможности проекта:

1. Возможность «дополнительных заданий»: можно осуществить подготовительные работы (например, поиск примеров благоустройства, изучение портала НСПД (рисунок 1), что углубляет знание предмета и подготовленность участников интенсива;

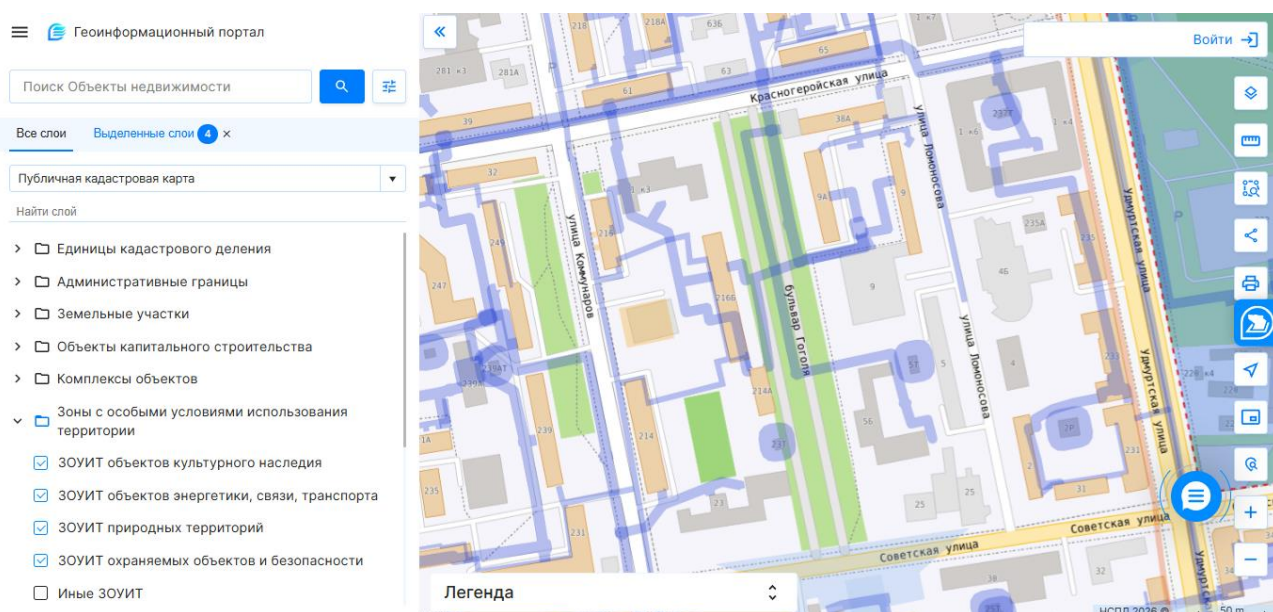


Рисунок 1 – Изучение функциональных возможностей портала НСПД

2. Привлечение экспертов со стороны – организация онлайн-встреч со специалистами в области природообустройства и градостроительства;

3. Продуманная концепция проекта благоустройства может повлиять на качество итогового продукта, следовательно, с данным проектом можно участвовать не только на региональном уровне, но и на межрегиональном.

Внешние факторы (угрозы проекта):

1. Изменение внешних условий. Необходимо иметь в виду, что при большом разрыве между днями интенсива у участников могут появиться внешние обстоятельства, из-за которых наблюдается отсутствие членов команды;

2. Отсутствие чёткого плана. Если проект не имеет чёткого плана или стратегии, это может привести к неэффективному использованию времени и ресурсов, а также к потере фокуса. Третья суббота – это подведение итогов, то необходимо будет напоминать цели, задачи интенсива, последовательность работы с картографическими ресурсами и другие организационные моменты.

3. Ошибки в планировании сроков. Неправильная оценка времени, необходимого для выполнения задач, может привести к тому, что проект не будет завершён в установленные сроки.

4. Несвоевременного выявления аутсайдеров, возникновения внутренних конфликтов, как результат, падения общей командной эффективности.

Стратегия №1 «Эффективность проекта в команде». Она направлена на компенсирование слабой стороны «Потеря командной эффективности проекта, риска недружной команды, появление аутсайдеров» за счёт возможности проекта «дополнительных заданий».

Можно осуществить подготовительные работы, что углубляет знание предмета и уменьшает затраты на объяснение материала для педагогов, выбрать формат онлайн-консультаций (15-30 минутные дистанционные консультации), устраивать периодические встречи. За счёт возможности проекта «Привлечение экспертов со стороны» возможно компенсировать слабые стороны и угрозы.

Стратегия №2 «Развитие интенсива» направлена на качество проекта, поскольку поддерживается дистанционный формат. Участникам ставятся мини-задачи для более детальной проработки будущего продукта, для более самостоятельной доработки нужного материала.

Ожидаемые результаты. Командам участников необходимо разработать концепцию благоустройства сквера Гоголя, включающую инженерные и экологические решения для повышения комфорта, безопасности и эстетической архитектурной привлекательности данной территории, представленную в формате pdf с количеством слайдов 10, не менее 10 фотографий (5 горизонтальных и 5 вертикального формата).

Заключение. Выводы по работе и перспективы:

1. Разрабатываемый инженерно-экологический интенсив на базе Удмуртского государственного университета обладает высоким образовательным и профориентационным потенциалом.

2. Сравнительный SWOT-анализ показал, что формат «3 дня подряд» оптимально подходит, если апробируется в условиях сжатых сроков, формат «3 субботы» будет эффективен, если итоговым продуктом будет конечный тщательно проработанный проект.

3. Перспективы проекта связаны с масштабированием, цифровизацией, партнёрами, интеграцией в региональную систему дополнительного образования. Реализация этих направлений позволит превратить интенсив в устойчивую, узнаваемую и тиражируемую практику инженерно-экологического просвещения школьников.

Список литературы

1. Колонтаевская И. Ф. Профориентационная работа со школьниками для поступления на инженернотехнические направления подготовки профессионального образования // Концепт, 2014. № 11 (ноябрь). URL: <http://e-koncept.ru/2014/14319.htm>.

2. Радионова Е.А., Гинзбург И.С., Ермаков И.Н. Профориентационная работа со школьниками в системе инженерного образования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки», 2022. Т. 14, № 2. С. 95–107. DOI: 10.14529/ped220209.

3. Швецова Е.В., Плуготаренко Н.К., Кирьякова Л.Г. и др. Профессии будущего в дополнительном экологобиологическом образовании школьников // VII Всероссийская Ярмарка социально-педагогических инноваций - 2020 г.

4. Шимлина И.В..Методический инструментарий профессиональной ориентации по географии //LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: Материалы Международной научно-практ. конф. 22 - 26 апреля 2024 года: в 2 т. Т. I / отв. ред. Д. А. Субетто, А. Н. Паранина. СанктПетербург: Изд-во РГПУ им. А.И.Герцена, 2024. 390 с.

5. Экология и изучение изменений климата. [Электронный ресурс]. URL: <https://bigchallenges.ru/eco>. (Дата обращения 02.05.2025 г.).

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
Раздел 1	
ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ТЕХНОСФЕРЫ	
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МУТНОСТИ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАБОТАХ ГИДРОНАМЫВА	
Белоусов М.Ю., Конюшков В.В.....	6
ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ НА НАСЕЛЕНИЕ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	
Васильев К.В., Наумова Т.В.....	14
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОТ ВОДООЧИСТКИ ДО ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ	
Головачева Е.А., Соколов Л.И.....	17
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАСОСОВ р. НЕВЫ	
Зафарзода К., Чусов А.Н.....	25
МОДЕЛЬ КОРРОЗИИ БАШЕН ШУХОВА В НИЖЕГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ	
Иванов А.В., Зайцев А.А., Иванова М.А., Маев М.Р., Колос С.М., Молодцов И.Д.....	30
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ МОДУЛЯМИ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	
Карташов М.А., Масликов В.И.....	37
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	
Лугаськова Н.В., Верлан В.С., Петров Г.В., Прокопьева К.А.....	41
ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	
Мещеряков М.П.....	44
НЕСГОРАЕМЫЙ ФАСАД	
Морозова А.П., Цаплиенко А.Д., Хохлова Л.И.....	51
АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С СЕМИАРИДНЫМ КЛИМАТОМ И С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАСУШЛИВОСТИ	
Мухитдинова Т.А., Касимцева Н.В., Эрдниев Л.П., Микеров А.Н.....	57
БУДУЩЕЕ ДЕРЕВЯННЫХ МНОГОЭТАЖЕК В РОССИИ	
Прудников Е.С., Сахаров Д.М., Хохлова Л.И.....	62
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭВОЛЮЦИЕЙ ТЕХНОСФЕРЫ: МЕТОДИКА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЭТАПА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Свириденко В.А.....	68

АНАЛИЗ ГАЗОВЫХ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ, ЧАСТИЧНО-МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ И ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ Стаценко В.Н., Садыков Р.Х.....	73
---	----

БИОЛОГИЧЕСКАЯ, СЕЙСМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СЛТ-ЗДАНИЙ: АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ ДАННЫХ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛЫХ И СУХИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИИ Хохлова Л.И., Голубева Т.П., Ринне И., Ринне Э.Э.....	85
--	----

Раздел 2 ЗАМКНУТЫЙ РЕСУРСНЫЙ ЦИКЛ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ Данилов О.С., Мезенцев А.Ю., Таскин А.В., Алексейко Л.Н.....	93
---	----

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Ибатуллина А.А., Климова А.С., Хохлова Л.И.....	101
--	-----

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВЕЩЕСТВ СООБЩЕСТВА АЭРОБНОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ИЛА Измайлова И.З., Смирнова Т.С., Сакаян Д.И.....	106
---	-----

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАЦИИ БИОКОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИЮ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ Кожевникова Ю.В., Суконщикова А.А., Сальникова Я.К.....	109
--	-----

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ БУРОУГОЛЬНОГО ЗОЛОШЛАКА ДЛЯ БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ Снегирев В.А., Сабирова Т.М.....	111
---	-----

ИСКУССТВЕННЫЙ ПОЧВОГРУНТ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ СЖИГАНИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ Сучков Д.В.....	114
--	-----

ЗАМКНУТЫЙ РЕСУРСНЫЙ ЦИКЛ И РАЗВИТИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ: ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ Топольская В.В., Забирова М.Д., Хохлова Л.И.....	118
---	-----

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ Цзинь Льюй, Бобомуродов Ш.У., Скопинцев И.В.....	123
---	-----

Раздел 3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

ИЗМЕНЕНИЕ КАТЕГОРИИ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕСТАПРОИЗРАСТАНИЯ Агафонова Т.Н., Ведерников К.Е., Новожилов А.С.....	129
---	-----

ВЫРУБКА ЛЕСОВ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА XXI ВЕКА Адаменко А.О.....	136
---	-----

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ С МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ Аминов Т.В., Смирнова Т.С.	139
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПАЛОМНИЧЕСКОГО ТУРИЗМА Варгузина М.Г., Яковенко Н.В.	147
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ Мамедов Э.П.	150
«ЗЕЛЕНый» КУРС КИТАЯ В МЕЖДУНАРОДНОМ АГРОСОТРУДНИЧЕСТВЕ Маринченко Т.Е.	156
ГОРОДА – ГУБКИ Сацункевич Е.А., Зайцева П.С.	163
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA Слюсарева А.П., Шакирова А.И.	169
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ Соколов Л.И., Воропай Л.М., Смирнова И.М.	174
АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ «ЦИРКУЛЯРНЫХ» ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ Хохлова Л.И., Вельковская М.И., Мухин В.В.	184
ЭКОЛОГОНЕЗАВИСИМЫЕ ЖИЛЫЕ МОДУЛИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СРЕДЕ Шибаета Е.Ю., Федотова Е.А., Хохлова Л.И.	191

Раздел 4 ПРИРОДОСОВМЕСТИМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

РАЗРАБОТКА И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ Кузнецова В.С., Каменская Е.О.	199
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ Мартусевич К.Д., Каменская Е.О.	200
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСТАНОВКАХ МИКРОГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ Хорьков С.А., Дементьев А.А., Дементьев И.А.	202

Раздел 5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ

MODERN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT: ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS PSYCHOLOGICAL ASPECTS Mutallimzada Aytan Sabir	209
---	-----

РОЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ Куцепалова Д.А.	212
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ: ОТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АГРЕССИИ К МАТЕМАТИКЕ ВОСТОКА Маврикиди Ф.И., Хорьков С.А.	214
ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕШАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ Недюрмагомедов Г.Г.	222
ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ШКОЛЬНИКОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ИНТЕРАКТИВНЫХ УРОКОВ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА Осипова Г.В. Дружакина О.П.	226
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНТЕНСИВ НА БАЗЕ ИНСТИТУТА ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ КАК ФОРМАТ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ Стяжкина И.С, Дружакина О.П.	234