

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

### DIGITAL TECHNOLOGIES IN ECOLOGICAL PRACTICE

**Аннотация.** Рассмотрены направления использования цифровых технологий в экологической практике. Проанализирована принятая в Российской Федерации стратегия в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования. Приведены примеры использования информационных методов и средств в экологических технологиях. Обращено внимание на проблемы и риски цифровизации экологической сферы.

**Abstract.** The directions of using digital technologies in environmental practice are considered. The strategy adopted in the Russian Federation in the field of digital transformation of the ecology and nature management industry is analyzed. Examples of the information methods and tools usage in ecological technologies are given. Attention is drawn to the problems and risks of digitalization in ecological sphere.

**Ключевые слова:** цифровизация, информационные технологии, цифровое производство, экологическая безопасность, утилизация отходов, обезвреживание, обеззараживание, утилизация, переработка отходов.

**Keywords:** digitalization, information technology, digital production, ecological safety, waste recycling, waste treatment, decontamination, waste disposal, neutralization, disinfection.

Новая «цифровая» реальность – объективный фактор, определяющий формы взаимодействия практически всех участников современного этапа общественного развития. При описании специфики данной реальности принято говорить не только о количестве появившихся в последние годы различных перспективных технологий (инноваций), но и о темпах их внедрения, что позволяет характеризовать происходящие изменения в терминах 4-ой промышленной революции (К. Шваб [15]), технологических парадигм (К. Перес и К. Фримен [13]) или как процесс перехода от 5-го к 6-му технологическому укладу с различными трактовками количества и сути базовых технологий, составляющих их основу (Й. Шумпетер [16], С. Глазьев [5] и др.) [3]. Вне зависимости от специфики упомянутых подходов, очевидно, что технологический базис происходящих изменений составляют наукоёмкие, или «высокие технологии» – термоядерная, водородная и «зеленая» энергетика, биоинженерия, фотоника, квантовые технологии и т.д., развитие которых возможно только с

применением цифровых технологий и средств – искусственного интеллекта, глобальных высокоскоростных информационных и транспортных сетей и систем, CALS-технологий и т.д. (табл. 1)

Таблица 1. Структура перспективного технологического уклада [7]

Приоритеты развития	Ядро технологической системы	
	Сектор	Базовые технологии
Безопасность Жильё и ЖКХ Здравоохранение	ТС1 (широкий спектр задач и технологий, основанных на фундаментальных научных принципах)	Биотехнология, лазерные, нано- и ядерные технологии
Образование Продовольствие Транспорт Энергетика	ТС2 (совокупность технологий, основанных на использовании различных законов природы для решения одной задачи)	Информационно-коммуникационные, космические, социальные, энергетические технологии и технологии природопользования
Экология Управление	ТС3 (технологии, созданные на стыке наук)	NBIC (нанобиокогнитивные) технологии

Представленные в табл.1 характерные для 6-го технологического уклада базовые технологии оказывают существенное влияние и на приоритеты современного развития, связанные с обеспечением экологической безопасности. Оценку подобного влияния можно увидеть как в разработанных ранее в РФ дорожных картах по 9 сквозным технологиям (большие данные, нейротехнологии и искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальностей [4]), так и в последнем принятом по данной тематике важном документе – распоряжении Правительства РФ от 8 декабря 2021 г. № 3496-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования» [14].

Упомянутое распоряжение лежит в русле решений, утвержденных Указом Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года" и дополняет перечень поручений Президента от 31 декабря 2020 г. № Пр-2242, а также подпункт "г" пункта 1 перечня поручений Президента Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № Пр-1383 и играет важную роль как в понимании значимости развития экологических технологий в русле современных цифровых подходов, так и в расстановке приоритетов и оценке перспектив внедрения информационных технологий в экологическую сферу. Анализ документа свидетельствует о наличии широкого круга проблем, характеризующих состояние отрасли экологии и природопользования в сфере её цифровой трансформации. Следует заметить, что данный блок документа занимает весьма

существенную его часть, упоминая 24 проблемы, требующих своего решения в ближайшее время. Среди ключевых проблем следует отметить [14]:

низкую информированность граждан в части мониторинга состояния окружающей среды и принимаемых органами исполнительной власти мер по снижению негативного воздействия;

высокую трудоемкость и низкую оперативность получения актуальной информации о состоянии природных ресурсов, а также отсутствие единых стандартов и единого канала сбора цифровой информации и обмена ее в рамках отрасли – о состоянии окружающей среды (воздух, вода, почва, недра, лес); по проблемам экологии, несанкционированных свалок; по количеству отходообразователей, объему и морфологии отходов III–V классов опасности;

отсутствие механизма учета и контроля потоков отходов;

критическую зависимость от иностранного программного обеспечения (корпоративные информационно-управляющие системы, платформы для сбора, хранения и визуализации данных технологических процессов) и высокотехнологичного оборудования.

Для решения перечисленных проблем предлагается внедрение в экологическую сферу большого числа известных технологий цифровой экономики:

- искусственного интеллекта (AI);
- дистанционного зондирования Земли;
- беспилотных летательных аппаратов;
- технологии интернета вещей (IoT);
- больших данных (Big Data);
- аналитической обработки данных;
- цифровых двойников (Digital Twins).

Основная сфера применения перечисленных технологий – анализ получаемой в результате экологического мониторинга информации и автоматизация принятия решений в режиме реального времени, прогнозирование опасных природных явлений (включая пожарную опасность в лесах), выявление и идентификация объектов животного и растительного мира, сбор и передача данных со стационарных и подвижных пунктов наблюдений (в рамках развития государственной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Среди таких задач можно упомянуть дистанционный мониторинг объектов захоронения отходов с использованием данных космического зондирования Земли и беспилотного наблюдения за тепловыми характеристиками полигонов захоронения твердых коммунальных отходов. Для повышения эффективности работы отрасли экологии и природопользования необходимо развитие

информационных систем и цифровых платформ с использованием современных средств для накопления, хранения, анализа и обработки данных, технологий интернета вещей, создания баз данных нового поколения природных объектов (экосистем), включая недра, водные объекты, леса, среду обитания объектов животного мира (в том числе с применением моделей цифрового двойника). В ряду планируемых к созданию цифровых платформ упоминаются сервисы услуг мониторинга состояния окружающей среды с интегрированной платформой в области гидрометеорологии, управления лесным комплексом, недропользования, управления обращения с отходами, управления водными ресурсами, поддержки и развития экологического туризма.

Очевидно, что внедрение данных технологий должно происходить в рамках политики импортозамещения с использованием радиоэлектронной продукции (систем хранения данных и серверного оборудования, автоматизированных рабочих мест, программно-аппаратных комплексов, коммуникационного оборудования, систем видеонаблюдения) и программного обеспечения российского происхождения. В рамках задач, направленных на повышение доли российских цифровых решений и доступности российских критических цифровых технологий предполагается внедрение высокотехнологичных решений последнего поколения – таких как квантовые коммуникации, облачные вычисления, использование мобильных сетей связи пятого поколения 5G; современных средств обеспечения информационной безопасности и т.д. Как отмечается в документе, реализация ключевых проектов и мероприятий (всего перечислено 8 проектов) данного стратегического направления позволит:

- создать систему обращения с твердыми коммунальными отходами, обеспечивающей сортировку отходов в объеме 100 процентов и снижение объема отходов, направляемых на полигоны, в 2 раза;
- снизить выбросы наиболее опасных загрязняющих веществ в 2 раза;
- ликвидировать наиболее опасные объекты накопленного вреда окружающей среде и обеспечить экологическое оздоровление водных объектов (Волги, Байкала, Телецкого озера и т.д.);
- увеличить долю массовых социально значимых услуг, доступных в электронном виде, до 95 процентов.

Ответственным федеральным органом исполнительной власти за реализацию стратегического направления является Министерство природных ресурсов и экологии РФ в составе следующих соисполнителей:

Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, экономического развития РФ; МинЧС РФ; Федеральное агентства – по недропользованию;

водных ресурсов; по надзору в сфере природопользования; лесного хозяйства, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; при участии публично-правовой компании "Российский экологический оператор", органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, общественных и коммерческих организаций.

Анализируя представленный документ, следует заметить, что он достаточно объективно оценивает текущее состояние в сфере цифровой трансформации экологической отрасли в РФ, учитывает возможные и актуальные экономические, социальные и политические риски реализации заявленной стратегии. Как справедливо отмечено в стратегии, цифровая трансформация – сложный ресурсоемкий процесс, требующий нормативного правового, кадрового и финансового обеспечения. Очевидно, что при наличии достаточной ресурсной базы, а также минимизации последствий воздействия упомянутых в нем рисков, должна быть сформирована широкая потребительская среда, использующая возможности, создаваемые указанной цифровой стратегией. В рамках этих возможностей должна быть повышена эффективность сочетания экологического контента и современных цифровых технологий (IoT, BigData, AI и т.д.) в рамках взаимодействия участников современных экономических отношений в системе «потребитель-государство», а также сформирована экологическая составляющая потребительских предпочтений в цифровой среде. Кроме того, должен быть достигнут достаточно высокий уровень практической реализации ресурсосберегающих технологий на базе широкого применения цифровых сервисов [4]. В качестве эффективных примеров реализации подобных проектов можно упомянуть, например, разработанный в РФЯЦ-ВНИИЭФ (Госкорпорация «Росатом») высокоэффективный и конкурентоспособный по сравнению с зарубежными аналогами цифровой продукт «Логос Гидрогеология», с помощью которого могут быть созданы отечественные цифровые модели нового поколения (в том числе и региональные) с большим объемом входной информации, с подробной дискретизацией объектов и множеством процессов, влияющих друг на друга (региональные цифровые двойники территорий с учётом множества гидрогеологических объектов, процессов, параметров и вариантов расчетов) [10].

Вместе с тем, на взгляд автора, данная стратегия достаточно мало внимания уделяет расширению взаимодействий участников в таких системах как «потребитель-производитель», «потребитель-общество», «потребитель-потребитель» и т. д., а также вопросам внедрения цифровых технологий при разработке бизнес-процессов в условиях экономики замкнутого цикла. Кроме того, вне рамок стратегии остаются методы решения экологических проблем, связанные с очевидным урбанистическим трендом развития современной цивилизации, в том числе и в России. Например, среди направлений и проектов стратегии отсутствуют концепции умного города (Smart City) и умного здания (Smart

Building), направленные на улучшение общей экологической обстановки и качества жизни за счет внедрения цифровых технологий в развитие инфраструктуры и городских сервисов [4]. В рамках данных концепций за счет использования IoT открываются широкие возможности для управления различными ресурсами и предотвращения экологических нарушений. Например, за счет применения цифровых сервисов можно более эффективно расходовать топливо транспортных средств и снизить количество выхлопных газов, улучшить энергетическую и экологическую эффективность ЖКХ и городских промышленных производств, оптимизировать систему сбора и утилизации отходов, повысить безопасность горожан. Достаточно в обобщенном виде рассматриваются в стратегии и методы решения ключевых экологических задач, связанных с внедрением цифровизации в инженерно-экологические проекты.

Решение любой инженерно-экологической задачи на современном уровне, очевидно, должно опираться на применение цифровых методов на каждой стадии разработки и внедрения соответствующей технологии. Это касается не только использования современных средств программного обеспечения для конструирования и проектирования (САПР - CAD/CAE/CAM) и технологической подготовки производства (АСТПП-АСУТП), но и применения последних достижений в сфере искусственного интеллекта и нейронных сетей для поиска оптимальных технологических решений, обеспечивающих максимальную эффективность разработанного экологического производства. Следует заметить, что на данный момент, несмотря на наличие ряда достаточно эффективных отечественных программных средств в сфере проектно-аналитической деятельности (Компас, T-Flex и др.), подавляющее большинство проектировщиков предпочитает использование зарубежных программных продуктов, обладающих более широким функционалом и развитым интерфейсом (CAD/CAE-системы компаний Dassault Systèmes, Unigraphics, Autodesk, PTC, CATIA и др.). В качестве примера можно упомянуть авторские разработки в сфере плазменных технологий для дожигания токсичных остаточных газов, образующихся в процессе термической переработки отходов [2], цифровые двойники которых спроектированы на базе отечественных САПР (3D-Компас) и проанализированы с применением зарубежных программ газодинамического CFD-анализа (SolidWorks, FlowWorks, EFD.lab). Для иллюстрации применения методов нейросетевого программирования в экологических проектах можно рассмотреть предложенный китайскими исследователями метод оптимизации технологии термической утилизации отходов. Поиск наиболее эффективного применения данной технологии на мусоросжигающем заводе является, как показывает практика, мультипараметрической задачей с необходимостью учета более 60 характеристик – объема, структуры и скорости подачи отходов и горючих газов,

температуры и времени сжигания мусора и т.д. [1], для решения которой предложенные современные методы с применением технологий искусственного интеллекта оказываются достаточно эффективны. Используются в настоящее время нейронные сети и для определения отдельных компонентов отходов, а также для идентификации объектов захоронения отходов на открытых космических снимках. Можно упомянуть и о разработке современных математических методов, лежащих в основе программных средств, применяемых при оценке эффективности различных экологических технологий. Подобные задачи возникают, например, при многокритериальном выборе наилучшего метода утилизации или обезвреживания отходов, ввиду достаточно широкого многообразия разработанных к настоящему моменту инженерно-экологических технологий. Выбор соответствующих критериев (стоимости, количества выбросов парниковых газов, эффективности инактивации микроорганизмов, предотвращения выбросов в атмосферу, общественного признания и др.), их весовых коэффициентов, а также метода их суммарной квалитетической оценки является непростой математической задачей, решаемой с применением методов нечетких множеств и ряда оптимизационных процедур. Для достижения максимальной эффективности функционирования спроектированного и введенного в производство экологического производства (мусоросортировочного комплекса или мусоросжигающего завода) необходимо также внедрение современных технологий цифрового производства – интернета вещей (IoT), управления жизненным циклом изделия (PLM – Product Lifecycle Management) с применением автоматизированных систем для проектирования техпроцессов и оформления технологической документации (САРР – Computer-Aided Process Planning) и т.д.

Разумеется, цифровизация экологической сферы – не только российский, но и общемировой тренд. Среди развивающихся в мире проектов в сфере диджитализации экологических процессов можно отметить реализуемую в Министерстве экологии Германии программу создания цифровых паспортов продуктов, позволяющую потребителю получить всю информацию о конкретном продукте – от его изготовления до утилизации – и сделать выводы о целесообразности его покупки по результатам анализа его энергоэффективности и экологичности [9]. Развивается в Германии и программа «Маяки в области искусственного интеллекта в интересах охраны окружающей среды, природы, ресурсов и защиты климата», целью которой является решение задач сокращения выбросов парниковых газов, создания технологий получения возобновляемой энергии и энергосберегающих технологий её хранения и накопления при помощи искусственного интеллекта. Следует отметить, что данный процесс охватывает, в целом, весь европейский союз. Например, в декабре 2020 года было принято заключение Совета ЕС «Диджитализация в интересах экологии»,

подтвердившее стремление ЕС к лидерству в области устойчивой цифровизации на мировом уровне. Одним из результатов подобного решения должно стать появление цифрового европейского реестра отчетов предприятий, из которых инвесторы и потребители смогут получить информацию об экологичности условий производства данными предприятиями своей продукции. Рассматривая сферу цифровизации во всех её возможных проявлениях, нельзя не упомянуть и о социальных проектах, реализация которых может быть существенно повышена за счет внедрения современных информационных средств. Речь в данном случае идет как об использовании цифровых платформ, созданных экологически ответственными предприятиями (Немузеймусора [12], ЕМУП Спецавтобаза [6] и др.), так и о государственных сервисах, способствующих сбору и распространению информации об экологических нарушениях и возможностях по реализации мер, снижающих их негативное воздействие (например, сайт Министерства энергетики и ЖКХ Свердловской области [11]). Способствуют улучшению экологической обстановки в населенных пунктах и внедряемые системы автоматизированного сбора мусора (например, сортоматы сбора пластиковой и алюминиевой тары) и его сортировки (на крупных мусоросортировочных комплексах). Нельзя не упомянуть и такую достаточно новую форму участия населения как цифровой экологический активизм, позволяющий эффективно и быстро через соцсети привлекать кадровые, технические и финансовые ресурсы для реализации проектов экологической направленности.

Разумеется, говоря о значимых позитивных результатах, которые должны быть достигнуты в результате цифровизации экологической сферы, нельзя не упомянуть и о некоторых проблемах, которые существуют в настоящий момент и могут возникнуть в ближайшей перспективе. Помимо упомянутых выше рисков реализации стратегии экологической цифровизации в РФ, следует обратить внимание на ряд возможных глобальных проблем, которые может усугубить бесконтрольное внедрение цифровых технологий. Как отмечается в декабрьском докладе 2017-го года французского Агентства по охране окружающей среды и эффективному использованию энергии, а также в заключении Министерства экологии Германии от 2019 года, интенсивное использование информационных технологий может привести к увеличению выбросов углекислого газа, так как энергетические затраты на отправку 1-го электронного сообщения, как оказывается, сопоставимы с суточным потреблением энергии 1-й работающей лампочки. Ещё более негативный эффект может вызвать бесконтрольное увеличение майнинговых фабрик для производства биткойнов. Следует обратить внимание и на обратный эффект внедрения цифровых технологий, когда удешевление экологических сервисов снижает ответственность потребителей за соблюдение норм экологического законодательства (соблюдение правил

чистоты, сортировки и утилизации мусора и т.д.), усугубляя тем самым экологические проблемы. По всей видимости, нужно принимать во внимание и известные негативные факторы работы с компьютерами – воздействие различных видов излучения (электромагнитного и теплового), выделение различных химических соединений, вероятные риски гиподинамии и т.д.

Помимо упомянутых проблем важным фактором, сдерживающим быстрое и повсеместное внедрение стратегического плана политики цифровизации в сфере природопользования и охраны окружающей среды, является низкий уровень экологической культуры и сознания людей. По мнению экспертов [8] и результатам анализа социологических опросов, у 90% людей не сформировано экологическое сознание, связанное с ощущением сопричастности к проблемам окружающей среды и готовностью участвовать в их решении. В результате население и представители промышленности неактивно участвует в процессах экологической цифровизации, а власти из-за ограниченности целевого финансирования, льготных и грантовых программ для инициативных групп слабо данные процессы стимулируют и действуют, как правило, несистемно. Как показывает авторский опыт, в России есть немало идей и разработок на уровне стартапов социального и технологического характера, направленных на решение широкого круга экологических задач, однако слабая их поддержка и востребованность как со стороны власти, так и со стороны потенциальных индустриальных партнеров не способствует их эффективному внедрению.

Подводя итог представленным выше рассуждениям, можно сделать вывод, что, несмотря на ряд имеющихся проблем, внедрение цифровых технологий в экологическую сферу должно снизить техногенную нагрузку на окружающую среду, повысить эффективность рационального использования ресурсов и улучшать состояние нашей планеты. Для того, чтобы цифровая и экологическая трансформация стали единым процессом, нужно выработать комплекс мер, в которых каждый отдельный человек, предприятие, государство будут ответственны за состояние окружающей среды. Только тогда цифровая трансформация экологической сферы даст нам всемирные и успешные результаты в решении задач улучшения качества жизни нынешнего и будущего поколений.

### **Список литературы**

1. Guo J., Yan A. Hybrid Selection Method of Feature Variables and Prediction Modeling for Municipal Solid Waste Incinerator Temperature // *Sensors*. 2021. Vol. 21. P. 7878. <https://doi.org/10.3390/s21237878>.

2. Анахов С. В., Матушкин А. В., Пыкин Ю. А. Обоснование способа плазменного дожигания газообразных продуктов переработки опасных отходов // *Техносферная*

безопасность. 2020. № 4 (29). С. 23–36. URL: <https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyu-elektronnyu-zh/>.

3. Анахов С. В. Особенности реализации научно-образовательной политики в рамках Национальной технологической инициативы // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2019. № 2. С. 5–15.

4. Василенко Н. В. Особенности формирования экологической составляющей потребительских предпочтений в цифровой среде // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, № 5. С. 23–32. <https://doi.org/10.18721/JE.12502>.

5. Глазьев С. Ю., Львов Д. С., Фетисов Г. Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. М. : Наука, 1992. 208 с.

6. ЕМУП «Спецавтобаза – региональный оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами. URL: <https://sab-ekb.ru/>.

7. Иванов В. В. Перспективный технологический уклад: возможности, риски, угрозы // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 4 (112). С. 6–9.

8. Корунова В. О., Ермолаева П. О. Экологические практики в контексте цифровых трансформаций: достижения, проблемы и перспективы развития (на примере г. Казани) // Евразия и глобальные социально-экономические изменения : VII Международный конгресс социологов тюркского мира, Казань, 12–13 марта 2020 г. : сборник научных трудов. Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2020. С. 253–259.

9. Шульце С. Крылья вместо тормозов. URL: <https://www.ipg-journal.io/rubriki/ehkologija-i-ustoichivoe-razvitie/krylja-vmesto-tormozov-1410/>.

10. Логос. URL: <http://logos.vniief.ru/>.

11. Министерство энергетики и ЖКХ Свердловской области : официальный сайт. URL: <https://energy.midural.ru/>.

12. #НЕМУЗЕЙМУСОРА – Всероссийский экокультурный проект. URL: <https://nemuseymusora.ru/>.

13. Перес К. Технологические революции и финансовый капитал: Динамика пузырей и периодов процветания. М. : Дело, 2011. 231 с.

14. Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2021 г. № 3496-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования» / Гарант.ру : информационно-правовой портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403109030/>.

15. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М. : ЭКСМО, 2018. 285 с.

16. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М. : Прогресс, 1982. 455 с.