

УДК 504.064.37:004.8

## **О МОНИТОРИНГЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БИОЛОГИЧЕСКОМ ЭТАПЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Зверев Н.Е., студент гр. ПГС-221, III курс, техник НИЛ ЦТПМСК  
Научный руководитель: Смирнова А.Д., ассистент кафедры маркшейдерского  
дела и геологии, научный сотрудник НИЛ ЦТПМСК  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Горнодобывающая промышленность России служит важным драйвером экономического развития государства, способствуя его благосостоянию. Однако экологическая цена такой деятельности остается крайне высокой. По данным Министерства угольной промышленности, в Кузбассе сегодня действует 151 угольное предприятие, причем одна треть из них использует открытый метод разработки месторождений [1]. Эта технология приводит к необратимому повреждению почвенного покрова, лишая земли плодородия, а также вызывает сокращение видового разнообразия растений и животных. Увеличение масштабов добычи угля усиливает негативную динамику, провоцируя масштабное нарушение земель и их вывод из хозяйственного оборота [2].

Согласно информации, представленной в Докладе о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса за 2023 год, в регионе зафиксировано 5,097 тыс. га нарушенных территорий, причем 4,531 тыс. га из них повреждены в результате разработки месторождений [3]. За отчетный период восстановлению подверглись 0,712 тыс. га, что соответствует 13,97 % от общего объема нарушенных земель. В сравнении с общей площадью региона, составляющей 9572,5 тыс. га, доля деградированных кажется минимальной – критическую важность при учете географической специфики: основные зоны нарушений сосредоточены вблизи крупных населенных пунктов, что многократно усиливает их негативное влияние на экологию и качество жизни населения [2].

Анализ статистики нарушенных и восстановленных земель в Кузбассе выявил дисбаланс между скоростью рекультивации и масштабами деградации почв (рис. 1). Это свидетельствует о недостаточной эффективности применяемых методов восстановления, которые не позволяют поддерживать необходимый экологический баланс. Для решения проблемы требуется модернизация подходов к рекультивации через интеграцию цифровых инструментов, соответствующих современным трендам цифровизации горнодобывающей отрасли. В

рамках исследования акцент сделан на систематизацию и оценку инновационных технологий, используемых для мониторинга нарушенных территорий на этапе их биологического восстановления [2].

Тыс. га

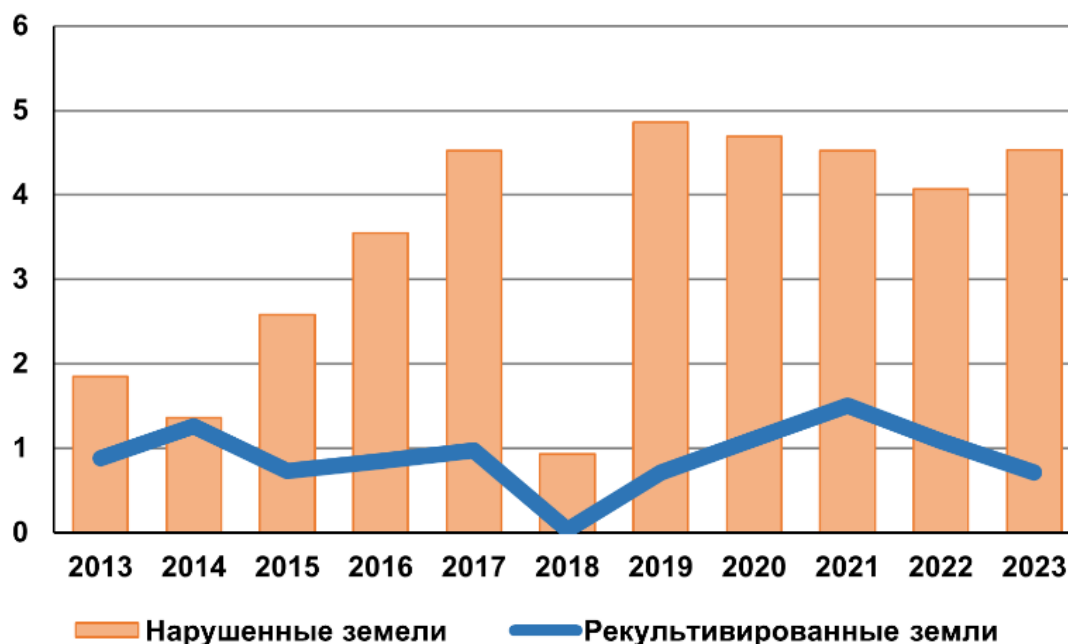


Рисунок 1. Соотношение площади нарушенных и рекультивированных земель в Кузбассе, тыс. га [3]

Согласно стандартным нормативам рекультивации земель, процесс делится на три последовательных этапа: подготовительный, горнотехнический и биологический. Подготовительный этап включает разработку проектной документации, выбор целевого назначения восстановленных территорий и экономическое обоснование предстоящих работ. Горнотехнический этап направлен на формирование рельефа, создание плодородного почвенного слоя и возведение гидротехнических конструкций для контроля водного баланса. Эти действия служат основой для биологического этапа, в рамках которого проводятся улучшение состава почвы, внесение питательных веществ, посев травянистых растений и высадка деревьев. Целью завершающей стадии является восстановление экосистем и формирование устойчивого растительного сообщества, способного предотвратить эрозию почв [2].

Немаловажной частью рекультивации является именно биологический этап, поскольку он помогает поддерживать экологический баланс, но в то же время требует решения сложной многофакторной задачи. В процессе проведения работ в рамках этого этапа необходимо обеспечивать экологический мониторинг, являющийся важным компонентом успешной рекультивации земель [4,5]. Это обуславливает необходимость проведения мониторинга для своевременного принятия мер по противодействию эрозионным процессам.

Эрозионные процессы с наибольшей вероятностью будут протекать на участках с большим количеством склонов и откосов, в связи с чем возникает

необходимость построения карт уклонов. Для оперативного проведения мероприятий по картированию необходимых характеристик заданного участка актуальным является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), являющихся на сегодняшний день одним из наиболее эффективных методов оптимизации процесса рекультивации. В результате фотограмметрической аэрофотосъемки с БПЛА выполняются высокоточные построения ортофотопланов, исключаящие искажения рельефа, а также создаются детальные карты высот и цифровые модели рельефа в виде облака точек [5].

Другим немаловажным показателем, влияющим на интенсивность эрозионных процессов, является влажность почвы [5]. Для мониторинга различных факторов, в том числе и показателя влажности почвы используется технология интернет вещей (NB-IoT – Narrowband Internet of Things). Информация с датчиков будет собираться с помощью устройства приема и трансляции информации (контроллера) и передаваться через сотовую сеть в центр обработки данных [6]. В результате обработка полученной информации формируется картограмма или точечный график, отражающие данные о влажности почвы [7]. Это может способствовать своевременному получению актуальных данных, что немаловажно для выявления закономерностей развития эрозии и ее точного прогнозирования.

Комплексирование данных с БПЛА и IoT-датчиков позволяет осуществлять многоуровневый анализ эрозионных процессов: пространственные данные с дронов обеспечивают детализацию рельефа и выявление зон повышенного риска, а IoT-датчики в режиме реального времени фиксируют динамику изменений параметров влажности грунта [8]. Возникает закономерная необходимость в применении актуальных методов обработки и интерпретации цифровых данных. Одним из таких методов является обработка этих данных с помощью алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), способная формировать прогнозные модели, которые имитируют поведение гидрологических систем, что способствует выявлению эрозионных процессов, и выработке рекомендаций по дальнейшему ведению работ [9].

В рамках данного исследования был проведен анализ перспективного потенциала интеграции датчиков с технологией IoT в процесс рекультивации нарушенных земель, а также возможности совмещения полученных данных с результатами съемки с БПЛА в виде цифровых карт уклона. Также рассмотрена возможность анализа полученной информации с помощью ИИ, способствующего улучшению экологической ситуации за счет обработки данных и прогнозирования. В совокупности все это может позволить эффективнее бороться с эрозионными процессами и в последствии оптимизировать проведение биологического этапа рекультивации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075–03-2024-082-2).

### Список литературы

1. Министерство угольной промышленности Кузбасса [Электронный ресурс]. URL: <https://murk42.ru/ru/> (дата обращения: 23.03.2025).
2. Зверев Н.Е. Об эффективности использования БПЛА в целях рекультивации нарушенных земель / Н.Е. Зверев, А.Д. Смирнова // Сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ», Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – 2024. – С. 010302.1.
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2023 году. – г. Кемерово, 2024. – 510 с.
4. Кононова А.Ю. Использование возможностей гис-технологий при лесовосстановлении на биологическом этапе рекультивации нарушенных земель / А.Ю. Кононова, А.Н. Кутляров // ГИС-технологии в науках о Земле. – 2023. – Минск : БГУ. – С. 284-291
5. Осинцева М.А. Влияние особенностей рельефа и эрозионных процессов на эффективность биологической рекультивации техногенно нарушенных земель угледобывающих предприятий / М.А. Осинцева, Е.А. Дюкова, Н.В. Бурова, А.М. Осинцев // Уголь. – 2024. – Т. 1182. – № 7. – С. 100-105. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-100-105.
6. Пищин О.Н. Использование технологии интернета вещей для повышения эффективности использования сельскохозяйственных угодий / О.Н. Пищин, А.О. Отузов, В.В. Никулин // Огарёв-Online. – 2023. – №15. – С. 1-8.
7. Зейлигер А.М. Анализ пространственного варьирования влажности почвенного покрова вдоль фронта дождевальная машины / А.М. Зейлигер, С.В. Затицацкий, О.С. Ермолаева, Д.А. Колганов // Природообустройство. – 2023. – № 3. – С. 15-22
8. Рожков В.А. Оценка эрозионной опасности почв / В.А. Рожков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2007. – №59. – С. 77-91.
9. Мырадов Г. Внедрение искусственного интеллекта в гидромелиоративных работах / Г. Мырадов, Г. Бабамырадова, Л. Гылыджова, А. Халлыева // Символ науки. – 2024. – № 11-2-2. – С. 131-132.