УДК 622

Попов Иван Александрович, студент
(Филиал КузГТУ в г. Междуреченске, г. Междуреченск)
Ivan A. Popov, student
(Mezhdurechensk branch of KuzSTU, Mezhdurechensk)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОТРАБОТАННЫХ УЧАСТКАХ КАРЬЕРА

GIS-BASED PLANNING FOR LAND RECLAMATION AT DEPLETED QUARRY SITES

Аннотация: рассмотрены теоретические и прикладные аспекты применения современных ГИС-технологий для пространственного моделирования и планирования процессов рекультивации нарушенных земель на открытых горных работах.

Abstract: the paper addresses the theoretical and applied aspects of employing modern GIS technologies for spatial modeling and planning of reclamation processes for disturbed lands in open-pit mining operations.

Открытые горные работы сопровождаются глубокой и масштабной трансформацией естественных экосистем. В процессе эксплуатации карьеров происходит механическое уничтожение почвенно-растительного покрова, коренная перестройка гидрогеологического режима, образование техногенных отрицательных (карьерные выемки) и положительных (внешние и внутренние отвалы) форм рельефа, активизация эрозионных и оползневых процессов.

Традиционные подходы к планированию рекультивационных мероприятий базируются на двумерных топографических планах и локальных маркшейдерских замерах. Такие методы отличаются значительной трудоемкостью, недостаточной оперативностью обновления данных и высокой вероятностью погрешностей при расчете объемов перемещаемых пород и моделировании оползневых явлений.

Внедрение геоинформационных систем (ГИС) в интеграции с технологиями дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) позволяет сформировать единое цифровое информационное пространство карьерного поля. Использование пространственного ГИС-анализа дает возможность осуществлять высокоточное 3D-моделирование рельефа, прогнозировать эрозионную устойчивость бортов, оптимизировать баланс земляных масс при планировке отвалов и объективно выбирать наиболее перспективные

направления рекультивации на основе комплексного многофакторного анализа [1].

Горнопромышленные ландшафты карьерных выемок характеризуются высокой степенью деградации базовых компонентов природной среды. К ведущим факторам деструктивного воздействия относятся морфологическая деформация рельефа, деградация гидрологической сети, химическое и физическое загрязнение почвогрунтов.

В задачах рекультивации ГИС выступает интегратором разнородной информации [2], такой как маркшейдерские данные (GNSS, лазерное сканирование TLS/ALS); материалы БПЛА (ортофотопланы, облака точек LiDAR); космические снимки (Sentinel-2, Landsat-8/9, Plan-etScope); данные инженерно-геологических изысканий (скважины, химанализ); векторные слои (границы горного отвода, бермы, инфраструктура); растровые слои (ЦМР, ЦМР проектная, карты уклонов, экспозиций); атрибутивные таблицы (литология, токсичность, влажность). Аналитический модуль обеспечивает расчет баланса земляных масс, гидрологический анализ и прогноз эрозии, многокритериальный выбор направлений рекультивации. Выходные проектные решения позволяют получить карты-схемы зонирования рекультивации, проекты вертикальной планировки и картограммы перемещения масс, регламенты мониторинга вегетационных индексов.

Архитектурно ГИС рекультивации опирается на многослойную пространственную структуру:

Базовый топографический слой: цифровая модель рельефа (ЦМР) и цифровая модель местности (ЦММ).

Геолого-литологический слой: мощности вскрышных пластов, пригодность пород для биологического этапа по классификации ГОСТ 17.5.1.03-86.

Гидрологический слой: направления стоков, базисы эрозии, водосборные бассейны.

Проектно-инженерный слой: проектные отметки выполаживания, сетка перемещения земляных масс.

В задачах рекультивации ГИС выполняет следующие функции: объединение разнородных данных (маркшейдерских, геологических, экологических, дистанционных) в единую пространственную базу; расчёт производных поверхностей, моделирование потоков, оценка эрозионной опасности; формирование проектных решений, картограмм, зон рекультивации; отслеживание динамики состояния нарушенных земель во времени; визуализация и представление результатов для заинтересованных сторон.

Точность ГИС-моделирования напрямую зависит от пространственного и временного разрешения исходных данных. В современной горной геоэкологии ведущую роль играют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и спутниковые группировки [3].

Использование БПЛА самолетного или мультироторного типа, оснащенных высокоточными RTK/PPK GNSS-модулями и фотограмметрическими камерами (а также компактными LiDAR-сканерами), обеспечивает получение ортофотопланов сверхвысокого пространственного разрешения, построение плотных облаков точек, съемку труднодоступных и опасных зон (высокие осыпающиеся уступы, карьерные водоемы); оперативность получения данных, высокое пространственное разрешение возможность съёмки в труднодоступных и опасных зонах; построение плотных облаков точек для высокоточного моделирования рельефа; повторяемость съёмки для мониторинга динамики.

Космические мультиспектральные снимки незаменимы для ретроспективного анализа динамики нарушенности земель и мониторинга биологической рекультивации.

Интеграция данных БПЛА и космоснимков позволяет создать многоуровневую систему мониторинга, объединяющую детальную съёмку ключевых участков и обзорный контроль всей территории.

Таким образом рекультивация нарушенных карьерных ландшафтов представляет собой комплексную междисциплинарную инженерно-экологическую задачу. Традиционные методы проектирования, оперирующие разрозненными плоскими чертежами, не способны обеспечить требуемую точность, оперативность и пространственную интеграцию данных в условиях динамично меняющегося горного производства.

Геоинформационные системы (ГИС) выступают современным связующим звеном, объединяющим материалы аэрофотосъемки с БПЛА, космические снимки, геомеханические свойства пород и гидрологические алгоритмы в единую цифровую среду.

Список литературы

1. Использование геопространственых данных для оценки состояния техногенно нарушенных земель / Н. С. Косарев, А. А. Колесников, А. В. Резник [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 6. – С. 190-197. – DOI 10.15372/FTPRPI20230617. – EDN LRCJTI.

2. Неверова О. А., Осинцева М. А., Васильев Р. А. Методические рекомендации по применению цифровых технологий в рекультивации отвалов угольных месторождений / под общ. ред. О. А. Неверовой. — Кемерово: КемГУ, 2025. — 138 с.

3. Кулешов А.М., Богачук А.Г., Колесников К.А., Паничкин И.О., Марковский М.А. Применение беспилотных летательных аппаратов в горнодобывающей промышленности. Горная промышленность. 2024;(5S):33–37. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-33-37