

# МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ООПТ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

---

**Колесников Алексей Александрович**

к.т.н., <sup>1</sup>доцент

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,  
Новосибирск

<sup>2</sup>старший научный сотрудник

ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН», Новосибирск  
*alexeykw@mail.ru*

**Косарев Николай Сергеевич**

к.т.н., <sup>1</sup>доцент

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,  
Новосибирск

<sup>2</sup>старший научный сотрудник

ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН», Новосибирск  
*kosarevnsk@yandex.ru*

---

*Аннотация.* Устойчивое развитие территорий требует учитывать влияние природо- и недропользования на экологическое состояние окружающей среды. В статье рассматривается методический подход к анализу и оценке влияния динамики площадей месторождений полезных ископаемых при их разработке, а также влияние горных работ на компоненты окружающей среды, в том числе и территорий ООПТ с выделением областей со сверхнормативной экологической нагрузкой. Предлагаемый подход отличается в комплексном использовании различных методов компьютерного моделирования на основе мультимасштабной базы пространственных данных с использованием технологий машинного обучения. Приводится схема и описание этапов процесса оценки влияния техногенно-измененных территорий на ООПТ.

*Ключевые слова:* база пространственных данных, данные дистанционного зондирования, кластеризация пространства, оценка экологического влияния, техногенно-измененная территория.

Сегодня устойчивое функционирование социально-экономического комплекса страны нельзя рассматривать без учёта возрастающих требований к рациональному, технологически и экономически эффективному, экологически безопасному природо- и недропользованию, в связи с этим возникает необходимость в формировании экологических критериев и разработке комплексных методических подходов к проведению геоэкологической оценки и прогнозирования влияния техногенно-нарушенных территорий в горнодобывающих регионах на окружающую среду (Битюков, 2022). В исследовании рассматриваются определение изменений площадей месторождений полезных ископаемых при их разработке, влияние горных работ

на компоненты окружающей среды с выделением областей со сверхнормативной экологической нагрузкой. Также выполняется разработка программ исследования техногенно-нарушенных территорий загрязняющими веществами и алгоритмов оперативного экологического мониторинга с использованием высокоточных геопространственных данных и технологии искусственного интеллекта.

Актуальность проблемы обусловлена важностью выполнения концепции устойчивого развития социально-экономического комплекса страны и управлением горнодобывающей отраслью России, мониторинга и защиты окружающей среды от негативного воздействия, что определяет необходимость и целесообразность корректировки подходов, принципов и методов экологически сбалансированного взаимодействия общества, природной среды и формируемых технологических пространств. Решение научной проблемы систематизации техногенных объектов, представляющих опасность для окружающей среды (земля, вода, атмосфера, геологические и биологические ресурсы) с использованием современных цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта, последующей комплексной геоинформационной и аналитической оценкой рисков изменения техногенно-нарушаемой природной среды имеет высокую теоретическую и практическую значимость (Дзодзикова и др., 2022). Полученные данные составят информационную основу новых фундаментальных исследований, ориентированных на разработку конкурентоспособных стратегии и тактики рационального природопользования, принципов планирования и управления производством на различных уровнях. Такие исследования будут стимулировать использование наилучших доступных и создание новых ресурсосберегающих экологически сбалансированных технологий. Полученные в ходе проекта результаты могут быть применены в разных регионах РФ для разработки конкретных методик комплексной эколого-технологической оценки техногенно-нарушенных территорий.

В данном исследовании особое внимание уделено использованию комплексного подхода и алгоритмов к проведению геоэкологической оценки техногенно-нарушенных территорий, новизна которого заключается в комплексном использовании различных методов компьютерного моделирования, сложных пространственно-распределенных нелинейных систем «природная среда – технологическое пространство – техногенно-нарушенная территория» для всесторонней оценки и последующего обоснования рациональных решений и мероприятий экологически сбалансированного использования территорий. Комплексный характер разрабатываемых в проекте экспериментально-теоретических основ нового вида (комплексного) мониторинга обусловлен главным образом его целевой направленностью на конструктивное воплощение современных возрастающих требований к рациональному, технологически и экономически эффективному, экологически безопасному природо- и недропользованию.

*Методы и материалы.* Основными элементами исследования являются:

- составление программы исследования техногенно-нарушенных территорий с целью проведения экологического мониторинга их связи с компонентами окружающей среды ООПТ;
- проведение экологического мониторинга компонентов окружающей среды в пределах горнодобывающих территорий на основе открытых геопространственных данных;
- разработка алгоритмов обработки, сбор и систематизация информации, автоматизированная обработка натуральных данных, построение графиков и карт диагностики уровней критичности экологической ситуации в пределах выделяемых «проблемных» зон воздействия на ООПТ.
- районирование, картирование и кластеризация техногенно-нарушенных территорий по состоянию компонентов окружающей среды с выделением участков, характеризующихся допустимой и сверхнормативной экологической нагрузкой на основе сформированных геоэкологических критериев;
- прогнозирование геоэкологических рисков, последствий и ситуаций и их идентификация в горнопромышленных регионах на основе технологии искусственного интеллекта и выдача рекомендаций по сокращению экологических рисков.

Комплексные, системные оценки суммарного влияния всех нарушенных территорий на окружающую среду, ранжирование их по степени опасности и возможности частичного или полного альтернативного восстановления, как правило, отсутствуют. Приоритетным при этом являются «Создание современной и безопасной среды для жизни». Не существует и единого комплексного методического подхода к оценке и прогнозу состояния техногенно-нарушенных или планируемых к изменению территорий нашей страны. Есть лишь локальные подходы, при которых рассматриваются проблемы конкретных отдельных территорий с предложением таких технологических, организационных, экологических и экономических решений, которые, как правило, ориентированы на учёт интересов недр- или землепользователей, максимально полно устраивают их и которые часто не соответствуют лучшим доступным достижениям науки и техники.

Интенсивное развитие цифровых методов, технологий и средств, открывает новые возможности для формирования специальных баз данных, работающих с использованием систем мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, начиная от масштаба региона и заканчивая конкретным локальным природным или техногенным объектом. К компонентам мониторинга относятся различные источники данных, включая спутниковые. В открытом доступе имеются мультиспектральные снимки, модели рельефа, данные с различных датчиков состояния атмосферы всей территории России на разные даты, что позволяет проводить исследования всех интересующих объектов на базовом

уровне с последующим переходом к получению и интерпретации высокоточных данных.

Использование ретроспективных данных позволят на первоначальном этапе оценки техногенно-нарушенных территорий дать первоначальную необходимую информацию, позволяющую в дальнейшем использовать её для составления информационно-аналитических баз данных, в комплексе эти средства позволят стратегически и оперативно управлять состоянием окружающей среды, а при принятии управленческих решений о размещении горнодобывающих объектов минимизировать их воздействие. Картирование экологической опасности объектов горнодобывающей отрасли и районирование техногенно-нарушенных территорий позволят ранжировать предприятия по основным индексам и численным значениям геоэкологических индикаторов.

*Результаты и обсуждение.* Формирование путей взаимодействия между технологиями геоинформационных систем и машинного обучения, включая алгоритмы Big Data, Data Mining, для пространственно-временного прогнозирования привело к формированию схемы этапов оценки влияния техногенно-измененных территорий на ООПТ (рисунок).



Рисунок – Схема этапов оценки влияния техногенно-измененных территорий на ООПТ

Первые четыре этапа методики позволяют регулярно актуализировать базу данных, содержащую контура и значения площадей техногенно-нарушенных территорий, средние значения климатических и экологических показателей. Использование инструментов автоматизации в ГИС позволяет на основе регулярно получаемых спутниковых снимков обновлять границы развития объектов мониторинга. В качестве таких данных использовались спутниковые снимки Sentinel-2 и Landsat-8 для которых применяется автоматическая сегментация участков техногенно-нарушенных территорий с использованием

методов машинного обучения. Для отдельных месяцев года создавались обучающие выборки для двух классов земного покрова, подлежащих моделированию – участков техногенно-нарушенных территорий и прочих поверхностей, с последующей обработкой с использованием случайного леса и нейронных сетей в виде базовой архитектуры U-Net и ее расширенной версии Attention U-Net. Несколько вариантов используется при последующем ансамблировании итогового результата для повышения качества определения объектов. Оценочные результаты в виде метрики Intersect over Union приведены в таблице.

Результаты автоматической сегментации техногенно-нарушенных территорий

<i>Месяцы</i> \ <i>Метод</i>	<i>Random Forest</i>	<i>U-Net</i>	<i>Attention U-Net</i>
Ноябрь – Март	0,48	0,70	0,72
Апрель – Май	0,56	0,76	0,81
Июнь – Август	0,54	0,71	0,80
Сентябрь – Октябрь	0,47	0,71	0,76

Используемые открытые мультиспектральные спутниковые данные с возможностью извлечения климатических и производных экологических показателей на исследуемую территорию также служат элементами мониторинга с возможностью автоматизации определения критических значений показателей и моделирования состояния. Список исходных и вычисляемых показателей:

- коэффициент экологического качества (EQR) (Free et al., 2020);
- индекс площади листы (LAI) (Schwieder et al., 2020);
- параметры качества воды (Viridis et al., 2022);
- нормализованный относительный индекс растительности (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI);
- нормализованный разностный водный индекс (Normalized Difference Water Index, NDWI);
- нормализованный индекс засухи (Normalized Difference Drought Index, NDDI) (Jabrayilov, 2022);
- доля поглощенного фотосинтетически активного излучения (FAPAR) (Murdereri et al., 2019).

На этапах четыре и пять выполняются статистические проверки, которые позволяют динамически оценивать поступающие данные на их качество, достоверность и выполнять поиск критических значений с помощью проверок на пропуски, теста Граббса и теста Манна-Кендалла на наличие тренда.

Этапы шесть и семь ориентированы на определение потенциальных изменений техногенно-нарушенной территории и прогнозировании их влияния на

экологические показатели ООПТ посредством оценки возможности появления изменений на основе вероятностей и искусственной нейронной сети для вычисления графа потенциальных переходов и построения пространственной модели будущих состояний окружающей среды с использованием клеточных автоматов на основе метода Монте-Карло. Отбор признаков на основе их важности выполняется с использованием алгоритмов SHAP, BoostARoota,

Разработанная методика может быть использована для прогнозирования геоэкологических рисков, последствий и ситуаций и их идентификация в горнопромышленных регионах и выдаче рекомендаций по сокращению негативных ситуаций воздействия на ООПТ. Разработанные в рамках исследования технические решения представлены в репозитории по ссылке <https://github.com/AlexeyKW/TechTerr>

#### Список использованных источников

Битюков Н.А. Научное обеспечение экологических ограничений природопользования на Северном Кавказе // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: Сборник статей IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Сочи, 06–08 октября 2022 года. Том 9. Сочи: Государственное казенное учреждение Краснодарского края «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Донской издательский центр, 2022. С. 75–94.

Дзодзикова М.Э., Цгоева Л.М., Туриев А.В. Туриева Д.В., Гаева А.А. Селение Нижний Унал – зона техногенного воздействия хвостохранилища Садонской обогатительной фабрики // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: Сборник статей IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Сочи, 06–08 октября 2022 года. Том 9. Сочи: Государственное казенное учреждение Краснодарского края «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Донской издательский центр, 2022. С. 151–156.

Free G., Trodd W., Tierney D. O’Boyle S., Plant C., Deakin J., Bresciani M. Estimation of lake ecological quality from Sentinel-2 remote sensing imagery // *Hydrobiologia*. Vol. 847, №. 6. 2020. P. 1423–1438. DOI 10.1007/s10750-020-04197-y

Jabrayilov E.A. Monitoring of fragile ecosystems with spectral indices using Sentinel-2A MSI data in Shahdagh national park // *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 15, №. 1. 2022. P. 70–77. DOI 10.24057/2071-9388-2021-006

Mudereri, B.T., Chitata T., Mukanga C., Mupfiga E.T., Gwatorisa C., Dube, T. Can biophysical parameters derived from Sentinel-2 space-borne sensor improve land cover characterisation in semi-arid regions? // *Geocarto International*. 36. 2019. P. 2204–2223.

Schwieder M., Buddeberg M., Kowalski K., Pfoch K., Bartsch J., Bach H., Pickert J., Hostert P. Estimating Grassland Parameters from Sentinel-2: A Model Comparison Study // *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. Vol. 88, №. 5. 2020. P. 379–390. DOI 10.1007/s41064-020-00120-1

Virdis S., Xue W., Winijkul E., Nitivattananon V., Punpukdee P. Remote sensing of tropical riverine water quality using sentinel-2 MSI and field observations // *Ecological Indicators*. Vol. 144, 2022. 109472. DOI 10.1016/j.ecolind.2022.109472