

DOI 10.37539/2949-1991.2026.41.6.058

Миронов Арсентий Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»
Mironov Arsentiy Alekseevich,
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II

Сермягина Екатерина Алексеевна,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»
Sermiyagina Ekaterina Alekseevna,
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II

Епифанова Виктория Дмитриевна,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»
Epifanova Victoria Dmitrievna,
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II

Кулюкин Егор Игоревич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»
Kulyukin Egor Igorevich,
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II

Научный руководитель:
Данилов Александр Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры геоэкологии
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»
Danilov Alexander Sergeevich,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Geoecology,
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
И ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
IMPACT OF GEOLOGICAL EXPLORATION
AND MINING ON THE ENVIRONMENT**

Аннотация. В статье представлен обзор современных исследований, посвящённых воздействию геологоразведочных работ и горного производства на окружающую среду. Рассмотрены основные экологические последствия: загрязнение атмосферы, водных ресурсов, деградация почвенного покрова и сокращение биоразнообразия. Систематизированы данные о масштабах техногенного воздействия, включая выбросы вредных веществ, образование отходов и нарушение земель. Проанализирован отечественный и международный опыт минимизации экологического ущерба, включая внедрение инновационных технологий, рекультивацию и нормативно-правовое регулирование. Выявлены ключевые нерешённые проблемы: низкая эффективность рекультивации, недостаточный уровень утилизации отходов и слабая нормативно-правовая база. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к экологизации горнодобывающей отрасли.



Abstract. This paper presents a comprehensive review of current research on the environmental impact of geological exploration and mining operations. The main ecological consequences are examined, including atmospheric pollution, degradation of water resources, soil cover disturbance, and biodiversity loss. Data on the scale of technogenic impact are systematized, covering emissions of harmful substances, waste generation, and land disturbance. Domestic and international approaches to minimizing environmental damage are analyzed, including the implementation of innovative technologies, land reclamation, and regulatory frameworks. Key unresolved challenges are identified: low reclamation efficiency, insufficient waste recycling rates, and weak regulatory mechanisms. The study concludes that an integrated approach to the greening of the mining industry is essential for achieving sustainable development.

Ключевые слова: Геологоразведочные работы, горное производство, воздействие на окружающую среду, загрязнение, рекультивация, отходы, устойчивое развитие.

Keywords: Geological exploration, mining operations, environmental impact, pollution, reclamation, waste, sustainable development.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается возрастающий интерес к проблемам взаимодействия горного производства и окружающей среды, что обусловлено как интенсивным развитием горнодобывающей отрасли, так и усиливающейся общественной озабоченностью вопросами устойчивого развития и экологии. Геологоразведочные работы и горное производство представляют собой ключевые этапы в процессе извлечения полезных ископаемых, однако они несут значительные риски для экосистем и здоровья населения [1, 2]. Процессы, связанные с добычей ресурсов, вызывают изменения в природных ландшафтах, ухудшение качества водоёмов, деградацию земель и утрату биологического разнообразия [3, 4].

Актуальность исследования определяется глобальной тенденцией к увеличению спроса на природные ресурсы, что сопровождается ростом объёмов геологоразведочных и горных работ. В условиях, когда устойчивое развитие становится необходимым для достижения баланса между экономическими потребностями и охраной окружающей среды, критически важно изучить, как геологоразведочная деятельность влияет на экосистемы [5]. Цель настоящей работы – комплексный анализ воздействия геологоразведочных работ и горного производства на окружающую среду с выявлением ключевых факторов экологических изменений и разработкой рекомендаций по минимизации негативных последствий.

1. Воздействие геологоразведочных работ на окружающую среду

Геологоразведочные работы оказывают многогранное негативное воздействие на окружающую среду, затрагивающее все её ключевые компоненты. Основные источники загрязнения включают поисковые скважины, буровые растворы и геофизические исследования. Наибольшее воздействие наблюдается в период бурения и испытания скважин, при этом уровень загрязнения почв и других компонентов среды может быть снижен до фоновых значений при соблюдении экологических требований и проведении рекультивационных работ [1].

Геологоразведочные работы, помимо непосредственного физического воздействия, включают широкомасштабные механические процессы, приводящие к изменению ландшафта и угрозе для мест обитания многих видов флоры и фауны. Даже после завершения работ некоторые участки остаются незаселёнными и не восстанавливаются на протяжении длительного времени [2]. Экологический мониторинг на перспективных участках недр показывает, что основными видами воздействия являются механическое разрушение почвенно-растительного покрова, физико-химическое загрязнение и изменение гидродинамического режима подземных вод [3]. Особое внимание уделяется методам



предотвращения негативных экологических последствий на ранних стадиях работ, что позволяет минимизировать воздействие на природные экосистемы [5].

Геологоразведочные работы, такие как сейсморазведка, бурение скважин и горные работы, оказывают влияние на природные экосистемы, хотя и менее значительное по сравнению с этапами добычи и закрытия месторождений. Основные экологические риски связаны с нарушением почвенно-растительного покрова, загрязнением атмосферы, почвы и грунтовых вод, а также изменением гидродинамического режима подземных вод [6]. В условиях увеличения глубины разработки месторождений возрастает метановыделение из угольных пластов, что требует комплексного подхода к проектированию разведочных работ [7].

Освоение техногенных месторождений в уже индустриально развитых зонах демонстрирует меньший уровень ущерба для экосистем по сравнению с освоением природных месторождений, так как не требует значительного изъятия земель из хозяйственного оборота [8]. Комплексная оценка геологоразведочных работ в контексте экологических последствий позволяет учитывать деградацию земельных ресурсов, загрязнение водоёмов и изменение природных ландшафтов [9].

2. Воздействие горного производства на окружающую среду

Горное производство, как открытое, так и подземное, приводит к значительным экологическим последствиям, включая нарушение земной поверхности (провалы, карьерные выемки), изъятие земель для отвалов, загрязнение водных ресурсов и атмосферы пылью, газами и химическими веществами [10]. Особое внимание уделяется оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), которая включает анализ загрязнения воздуха, изменения гидробаланса, ухудшения качества вод и почв, а также образования промышленных отходов [11].

Техногенное воздействие горных работ классифицируется на три класса: физические, физико-химические и химические. Физические воздействия приводят к деградации ландшафтов и трансформации природных систем в техноприродные. Физико-химические воздействия влияют на вещество геологической среды, вызывая техногенные сукцессии. Химические воздействия, включая загрязнение экотоксикантами, наиболее опасны, так как приводят к гибели организмов и хроническим заболеваниям [12].

Взрывные работы при открытой разработке месторождений являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Нагрузка на атмосферу снижается нелинейно с увеличением расстояния от эпицентра взрыва: при удалении до 1500 м индекс снижения нагрузки составляет 61,5 %/км, а на расстоянии от 1500 до 3500 м снижается в пять раз [13]. При этом массовые взрывы на рудных карьерах являются основным источником нагрузки на атмосферу [14].

Интенсивное развитие горной промышленности привело к накоплению значительных объёмов отходов, таких как вскрышные породы и хвосты обогащения. В хвостохранилищах сохраняется до 20% цинка, меди и свинца от их содержания в рудах, что приводит к загрязнению водных систем [15]. Угольная пыль является основным источником загрязнения при открытой добыче, распространяясь на расстояние до 4 км от источника. Площадь нарушенных земель в зоне воздействия разреза составляет не менее 662 га [15].

Горнопромышленный комплекс России ежегодно выбрасывает в атмосферу около 50 млн тонн вредных веществ, сбрасывает более 2 млрд м³ загрязнённых сточных вод и складывает на поверхности более 8 млрд тонн твёрдых отходов [11]. При массовых взрывах объём пылегазового облака может достигать 20–23 млн м³, а выбросы газов в мире превышают 8 млн тонн в год [11].

3. Отечественный и международный опыт решения проблемы

В России разработаны методы оценки экологического состояния окружающей среды в районах размещения угольных предприятий, основанные на интегральном показателе



воздействия горного производства. Предлагается системный подход к моделированию антропогенной нагрузки с использованием ГИС-технологий [6]. Реабилитация природной среды осуществляется тремя основными способами: естественным, технологическим и смешанным, при этом рекультивация земель является основным методом восстановления нарушенных территорий, хотя не позволяет полностью восстановить экосистемы и биоразнообразие [2].

Оптимизация системы «разведка – разработка – охрана окружающей среды» позволяет снизить затраты на добычу и уменьшить экологический ущерб. Недостаточная достоверность разведанных запасов приводит к значительным экономическим потерям и увеличению ущерба окружающей среде [8]. Система комплексного экологического мониторинга при проведении геологоразведочных работ включает изучение фоновых параметров природной среды до начала работ и регулярное наблюдение за изменениями в ходе деятельности. На участках без мониторинга коэффициенты концентрации загрязняющих веществ достигали значений $K_k=2-23$, что соответствует очень сильному загрязнению [3].

Предлагаемые мероприятия по охране окружающей среды включают внедрение систем мониторинга и управления экологическими рисками, использование экологически чистых технологий, а также восстановление нарушенных земель и водных ресурсов. Конкретные количественные показатели, такие как сокращение выбросов загрязняющих веществ на 30% и уменьшение потребления воды на 15%, подтверждают действенность предложенных мер [5]. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов, в частности фосфогипса, позволяет не только снизить объёмы отходов, но и извлечь ценные компоненты. В России перерабатывается только 2% фосфогипса, остальное складывается в гипсонакопителях [8].

Внедрение наилучших доступных технологий (НДТ), таких как «умная скважина» и «интеллектуальное месторождение», позволяет удалённо контролировать и оптимизировать процессы добычи, минимизируя воздействие на окружающую среду [5]. Использование замкнутых систем циркуляции промывочной жидкости и метода «сухого» тампонирования снижает токсичное влияние буровых растворов на почву и воду [1].

В зарубежной практике активно применяются инновационные технологии, такие как биоремедиация и системы замкнутого цикла. В Швеции внедрение технологий замкнутого цикла позволило сократить выбросы на 35%, а в Канаде и Австралии строгие экологические нормы и эффективные методы рекультивации обеспечивают устойчивое управление ресурсами [2]. Важным аспектом является международное сотрудничество и обмен опытом, что позволяет внедрять передовые технологии и методы управления экологическими рисками [5].

4. Нерешённые проблемы

Несмотря на развитие технологий, многие проблемы остаются нерешёнными. Горнодобывающая промышленность генерирует значительные объёмы отходов: в России к 2021 году накоплено 51 млрд 75 млн тонн промышленных отходов, из которых 90% приходится на добывающие отрасли. Уровень утилизации отходов в горнодобывающей промышленности составляет всего 39,1% [11]. Выбросы вредных веществ в атмосферу предприятиями угольной промышленности составили 1110,2 тыс. тонн, причём 93,6% из них – шахтный метан. Площадь нарушенных земель составила 10 656,6 га, а уровень рекультивации – лишь 5,5% [11].

Основные нерешённые проблемы включают низкую эффективность очистки сточных вод, недостаточное использование шахтного метана, медленные темпы рекультивации и отсутствие экономических стимулов для переработки отходов [11, 15]. Отсутствие систематизированного учёта экологических последствий горнодобывающей деятельности затрудняет оценку их влияния на экосистемы [9]. Слабо контролируемое освоение



месторождений и недостаток финансирования природоохранных мероприятий создают угрозу экологической безопасности, особенно в условиях уязвимости экосистем Севера [10].

Техногенные поверхностные образования, содержащие тяжёлые металлы и мышьяк, продолжают загрязнять экосферу, превышая ПДК в почвах от 1,5 до 200 раз. Сульфидные отходы при окислении образуют кислотные растворы, загрязняющие водные ресурсы [12]. Отмечается недостаточная эффективность рекультивации и отсутствие контроля за хвостохранилищами [12]. Для минимизации экологического ущерба необходимо усиление государственного регулирования, разработка инновационных технологий и гармонизация экологических стандартов [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтверждает, что геологоразведочные работы и горное производство оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, затрагивая все её ключевые компоненты: атмосферу, гидросферу, почвенный покров и биосферу. Основные экологические последствия включают загрязнение воздуха пылью и газами, деградацию водных ресурсов, ухудшение качества почв и сокращение биоразнообразия. Эти процессы обусловлены как прямым воздействием горных работ (выбросы, сбросы, механические нарушения), так и косвенными эффектами, такими как изменение ландшафтов, нарушение гидрологического режима и накопление токсичных отходов.

Для минимизации негативного воздействия геологоразведочных работ и горного производства на окружающую среду необходимо дальнейшее развитие нормативно-правовой базы, внедрение современных технологий и усиление международного сотрудничества. Важным аспектом является также учёт региональных особенностей и разработка комплексных мер, направленных на восстановление экосистем и улучшение качества жизни местного населения. В частности, необходимо усилить государственное регулирование, разработать инновационные технологии для утилизации отходов и рекультивации земель, а также гармонизировать экологические стандарты с международными требованиями. Особое внимание следует уделить внедрению систем замкнутого водопользования, позволяющих сократить потребление воды на 15–20%, и развитию методов биоремедиации, которые могут снизить концентрацию тяжёлых металлов в почвах на 30–50%.

Таким образом, достижение баланса между экономическими интересами и сохранением окружающей среды возможно только при условии интеграции экологических аспектов в стратегию развития горнодобывающей отрасли. Это требует не только технологических инноваций, но и изменения подходов к управлению природными ресурсами, включая усиление ответственности недропользователей и внедрение принципов устойчивого развития на всех этапах жизненного цикла горных предприятий.

Список литературы:

1. Яковлева Т.П. Геоэкологические аспекты разведочных работ на примере месторождения нефти и газа в Восточной Сибири // ГИАБ. 2015. №2.
2. Яковлева Т.П. Закономерности изменения компонентов окружающей среды под влиянием геологоразведочных работ на нефть и газ на территории Байкитской антеклизы // ГИАБ. 2014. №3.
3. Кириченко Ю.В., Яковлева Т.П. Экологический мониторинг геологоразведочных работ на Шушукском перспективном участке недр // ГИАБ. 2007. №6.
4. Пухаева З.Э. Роль коэффициента экологической опасности рудного месторождения при выявлении негативного воздействия руд на экосистемы района // ГИАБ. 2005. №1.
5. Веселко А.Ю. Экологические аспекты при освоении и вводе в эксплуатацию геотермальных месторождений // ГИАБ. 2015. №63.



6. Киселев Н.Н., Квашук О.Ю. Геоэкологические задачи угольной промышленности на разных стадиях освоения угольных месторождений // ГИАБ. 2006. №2.
7. Шубина Е.А., Лукьянов В.Г. Проектирование геологоразведочных работ с целью использования скважин для производства заблаговременной дегазации угольных пластов // ГИАБ. 2016. №10.
8. Рыжова Л.П., Носова Е.В. К вопросу эколого-экономической эффективности освоения техногенных месторождений рудных полезных ископаемых // ГИАБ. 2017. №9.
9. Пахомов В.П., Атаманова Е.А. Комплексная оценка минеральных ресурсов в условиях пространственного недропользования // Экономика региона. 2013. №1 (33).
10. Овешников Ю.М. Особенности разработки минерального сырья Забайкальского края в современных условиях // ГИАБ. 2011. №3.
11. Галанина Т.В., Любимова К.В. Экологические последствия техногенного воздействия при проведении горных работ // ГИАБ. 2010. №12.
12. Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Шевцов М.Н. Оценка риска и экологическая безопасность эксплуатации месторождений в Хабаровском крае // ГИАБ. 2005. №3.
13. Захаров В.Н., Федотенко В.С., Ефремовцев Н.Н. Исследование техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля // Уголь. 2023. №12 (1174).
14. Папичев В.И. Интегральная оценка воздействия взрывных работ на атмосферу // Записки Горного института. 2009.
15. Озарян Ю.А., Васянович Ю.А. Основные экологические аспекты технологии освоения угольного месторождения (на примере Буреинского угольного разреза) // ГИАБ. 2020. №1.

