

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ  
GEOTECHNOLOGY****Научная статья****УДК 622.235****DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-114-126****ОТ ПОСТ-МАЙНИНГА 1.0 К 6.0 – АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА****Жиронкин Сергей Александрович<sup>1</sup>, Кудреватых Андрей Валерьевич<sup>1</sup>,  
Коновалова Мария Евгеньевна<sup>2</sup>, Абу-Абед Фарес Надимович<sup>3</sup>,  
Жиронкина Ольга Валерьевна<sup>4</sup>**<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева<sup>2</sup> Самарский государственный экономический университет<sup>4</sup> Тверской государственный технический университет<sup>4</sup> Кемеровский государственный университет

\* для корреспонденции: zhironkinsa@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 октября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2025 г.

Опубликована:

22 декабря 2025 г.

**Ключевые слова:**пост-майнинг, добыча  
полезных ископаемых,  
ревитализация, рецикллинг,  
горнодобывающие районы**Аннотация.**

В статье проанализирован зарубежный опыт пост-майнинга в разрезе успешных кейсов стран Евросоюза, Северной Америки, Австралии во взаимосвязи с оценкой законодательства о ревитализации горнодобывающих кластеров. Показаны основные технологии пост-майнинга 6.0, внедряемые в различных странах. Авторы выделили этапы развития пост-майнинга в XX веке, отражающие эволюцию его парадигмы и развитие технологий комплексного восстановления природных и социально-экономических экосистем горнодобывающих кластеров. Также обоснованы различия в поколениях технологий пост-майнинга в ряде стран. Представлены составляющие системы пост-майнинга 6.0, включающие в себя его определение, цифровую основу управления данными о ревитализации, систему поддержки принятия решений при помощи искусственного интеллекта и машинного обучения, меры замыкания материальных потоков горнодобывающих территорий, биоэкономику и агротехнику, «зеленую» энергетику, социотехническую интеграцию. Проанализировано законодательство различных стран, выделены национальные особенности эволюции технологий пост-майнинга, даны рекомендации по его развитию в России.

**Для цитирования:** Жиронкин С.А., Кудреватых А.В., Коновалова М.Е., Абу-Абед Ф.Н., Жиронкина О.В. От пост-майнинга 1.0 к 6.0 – анализ зарубежного опыта // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 114-126. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-114-126, EDN: MWOWQJ

Современная горнодобывающая промышленность во всем мире оказалась перед лицом беспрецедентного вызова: глобальное наследие открытых горных работ насчитывает сотни тысяч заброшенных карьерных полей и породных отвалов, совокупная площадь которых исчисляется многими миллионами гектаров [1]. В зонах интенсивного ведения подземных горных работ по мере их окончания

увеличивается число провалов и депрессионных воронок, часто расположенных вблизи населенных пунктов. В совокупности это представляет собой сложный комплекс экологических, социальных и экономических проблем, включающих деградацию ландшафтов, загрязнение подземных и поверхностных вод и атмосферы, сейсмические явления, социально-экономическую деградацию в сырьевых

моногородах и целых регионах после закрытия градообразующих предприятий.

Традиционные методы технической и биологической (водо- и лесохозяйственной,

рекреационной)

сфокусированные на технической безопасности и биологическом восстановлении, во многом исчерпали свой потенциал возрождения

рекультивации,

Таблица 1. Этапы развития парадигмы пост-майнинга

Table 1. Stages of development of the post-mining paradigm

Этап	Период	Концепция	Реализация на практике	Проблемы
Пост-майнинг 1.0	Вторая половина XX в.	Осознание масштабов долгосрочного экологического ущерба и необходимости минимизации текущих рисков для территории	Консервация шахт и частичное заполнение карьерных полей, создание примитивных дренажных систем, инвазивная биологическая рекультивация	Отсутствие долгосрочного планирования экологических рисков, нулевой экономической эффект
Пост-майнинг 2.0	Конец XX – начало XXI в.	Формальная экологизация добычи полезных ископаемых и снижение воздействия на окружающую среду до нормативного уровня	Планомерное выполнение технического и биологического этапов рекультивации, формирование био-рекультивационного слоя и карьерных озер	Формализм и единообразие технологий рекультивации, низкая хозяйственная ценность восстановленных земель
Пост-майнинг 3.0	2000-е гг.	Поиск экономической целесообразности вторичного использования территории для простой экономической активности	Размещение складов, логистических центров, малых производств на промплощадках закрытых горнодобывающих предприятий	Несистемный характер экологических, технических и экономических действий, консервация проблем
Пост-майнинг 4.0	2010-е гг.	Фокус на циркулярной экономике (отходы – это неиспользованные ресурсы) и «urban mining» (города на месте шахт)	Извлечение остаточных запасов полезных ископаемых и попутных компонентов, развитие солнечной и ветровой энергетики	Технологически сложный и капиталоемкий процесс с высоким риском вторичного загрязнения при переработке
Пост-майнинг 5.0	2020-е гг.	Преобразование промышленного наследия заброшенных горнодобывающих предприятий в общественные пространства	Создание промышленных парков и рекреационных зон, арт-объектов, экстремальных спортивных площадок (дайвинг в карьерах, скалолазание), музеев под открытым небом	Высокие стартовые затраты на благоустройство, ненадежность туристических потоков для удаленных регионов
Пост-майнинг 6.0 (современная парадигма)	С середины 2020-х гг.	Синтез и преодоление ограничений предыдущих этапов. Трансформация объекта пост-майнинга в «умный» мультифункциональный кластер	Интеграция различных видов деятельности (энергетика, сельское хозяйство, переработка, наука, рекреация) в единую систему на основе передовых цифровых технологий и принципов устойчивого развития	Первоначальный этап развития, отсутствие всей полноты информации о результатах

экономики и общества горнодобывающих территорий после погашения горных работ и разрушения промышленной инфраструктуры предприятий. Существующие методы

отличаются высокой затратностью и не создают долгосрочных экономических перспектив развития регионов, поскольку не учитывают смены поколений технологий (таких как переход

Таблица 2. Опыт Евросоюза в развитии пост-майнинга 6.0

Table 2. EU experience in developing post-mining 6.0

Регион	Ключевые проекты и объекты	Концепция	Элементы и технологии
Рурская область (Германия) – бывший центр угледобычи и тяжелой промышленности	Международная строительная выставка Эмшер-Парк (Internationale Bauausstellung Emscher Park), 1989-1999 гг. [22]	Масштабная 10-летняя программа, координирующая преобразование всего промышленного региона	Создание рекреационно-выставочных зон, развитие низкоуглеродной энергетики и IT-кластера
Рурская область (Германия), металлургический комбинат	Ландшафтный парк Дуйсбург-Норд (Landschaftspark Duisburg-Nord), 1990-1996 гг. [23]	Промышленный памятник + рекреация + культура (завод не был снесен, а был преобразован в общественный парк)	Бывшие газгольдеры превращены в дайвинг-центр, доменные печи – в альпинистский маршрут, литейный цех – в концертную площадку; экскурсии по промышленному наследию
Рурская область (Германия), самая большая угольная шахта в Европе	Золотая шахта Цольферайн (Zeche Zollverein), г. Эссен, 1987-1995 гг. [24]	Креативный кластер и культурный хаб, объект Всемирного наследия ЮНЕСКО	Музей дизайна Ред Дот, культурный центр, бассейн, каток, интерактивные экспозиции, филиал Фольквангского университета искусств, мегапарк «Путь промышленной культуры» (800 км <sup>2</sup> )
Лотарингский угольный бассейн (Франция), шахта «Амели»	Парк Мемориал Лотарингского угольного бассейна (Parc du Memorial de la Mine) и технопарк Амели (Technopole Amélie), 1995-2010 гг. [25]	Сохранение памяти + инновационная экономика + экология	Музейный комплекс «Центр истории шахтеров», Научно-исследовательский и образовательный центр по экологии, пешеходные маршруты и места обитания для редких видов, технопарки из сферы IT, логистики и экологических технологий
Медный рудник «Пюхясалми» (Финляндия)	Подземный рудник по добыче меди, цинка и пирита, 2008-2018 гг. [26]	Циркулярная экономика и промышленный симбиоз	Шахта по технологии компании Gravitricity переоборудована в подземный накопитель энергии гравитационного типа (GraviStore)
Карьер «Бутхардт» (Германия)	Гранитный карьер, 2003-2010 гг.	Преобразование в энергетический хаб	Затопленная чаша карьера была использована для строительства гидроаккумулирующей электростанции Гольдермос

от Индустрии 3.0 к 4.0 и далее – к 5.0, с развитием новой платформы геотехнологии Майнинга 5.0 [2]). В этой связи значительно возрастает актуальность развития новой концепции комплексного восстановления горнодобывающих кластеров, которая рассматривала бы объекты пост-майнинга не как «бремя», а как уникальный ресурс для инновационного развития территорий.

Исследованию пост-майнинга посвящены труды многих отечественных и зарубежных ученых. Вопросы рекультивации и комплексного восстановления нарушенных горными работами земель детально изучены в работах ряда российских ученых [3-4]. Аспекты рециркуляционной экономики горнодобывающих районов раскрыты в работах [5- 9]. Зарубежный опыт ревитализации промышленных территорий проанализирован в [10-17]. Отдельно следует отметить научную школу исследования пост-майнинга в Германии [18-19].

Особого внимания заслуживает подход к комплексному восстановлению горнодобывающих территорий, связанный с разделением их на гринфилды (новые индустриальные парки), грейфилды (полузаброшенные горнодобывающие территории), браунфилды (функционирующие промышленные зоны с сохранившейся инфраструктурой) и блэкфилды (полностью заброшенные промышленные зоны) [20].

Важно отметить, что большинство существующих исследований в области пост-майнинга достаточно фрагментарны и не предлагают целостной системы, объединяющей технологические, экологические и социальные инновации в единый управляемый комплекс ревитализации горнодобывающих территорий после закрытия предприятий.

Цель исследования – проанализировать концептуальные основы и практический международный опыт развития парадигмы пост-майнинга как системы восстановления кластеров интенсивных горных работ, выделить этапы ее развития в ходе создания синергетического эффекта для окружающей среды, экономики и общества. В этом контексте статья продолжает цикл публикаций коллектива авторов [1, 21].

Для достижения данной цели необходимо выделить основные этапы эволюции концепций пост-майнинга, которые формировались на основе доминирующих на определенный момент времени научно-технических и социально-экономических подходов к анализу ревитализации горнодобывающих территорий (Таблица 1).

Таким образом, пост-майнинг 6.0 символизирует современный этап эволюции

теории и практики комплексного восстановления (ревитализации) горнопромышленных кластеров, которая прошла путь от простого озеленения отвалов (пост-майнинг 1.0) до сложной многопрофильной стратегии, которая превращает закрытие горнодобывающих предприятий в точку старта возрождения старопромышленной территории.

Успешные кейсы пост-майнинга можно наблюдать в таких странах с интенсивной добычей твердых полезных ископаемых, как Канада, США и Австралия, а также в исторически первых горнодобывающих районах стран Евросоюза (Таблица 2).

Наряду с успешными примерами реализации кейсов пост-майнинга в Рурской области и Лотарингии существуют примеры создания технологических парков на месте шахт в Силезии (Польша), развитие ветроэнергетики и агротуризма после закрытия угольных разрезов в Астурии (Испания) и др.

Выход пост-майнинга в странах Евросоюза на шестой этап развития обусловлен прежде всего жесткими экологическими и экономическими требованиями к ревитализации горнодобывающих кластеров, сведенных в такие общеевропейские документы, как «Директива о добывающей промышленности (2006/21/ЕС)», «Директива о промышленных выбросах (2010/75/EU)», «Директива об оценке воздействия на окружающую среду (2011/92/EU)». Данные документы требуют разработки планов управления отходами до начала горных работ и реконструкции предприятий, финансовых гарантий и страхования покрытия затрат на восстановление территорий, комплексных разрешений на эксплуатацию с учетом наилучших доступных технологий, анализа альтернативных вариантов восстановления территорий и участия общественности в принятии рекультивационных решений. Наряду с этим в странах Евросоюза действуют Фонд справедливого перехода, который предоставляет финансирование регионам, зависимым от горнодобывающей промышленности, и межгосударственная программа «LIFE», в рамках которой финансируются пилотные проекты по восстановлению биоразнообразия и восстановления социально-экономической активности.

Европейский опыт пост-майнинга свидетельствует о том, что наиболее успешные проекты (Рур, Лотарингия) были инициированы и координировались на региональном и национальном уровне с долгосрочным финансированием, при этом успех комплексной ревитализации горнодобывающей территории





Рис. 1. Примеры успешных объектов пост-майнинга в странах Евросоюза: А) Международная строительная выставка Эмшер-Парк, Рурская область, Германия; Б) Ландшафтный парк Дуйсбург-Норд, Рурская область, Германия; В) Золотая шахта Цольферайн (Zeche Zollverein), г. Эссен, Германия; Г) Парк Мемориал Лотарингского угольного бассейна, Франция

Fig. 1. Examples of successful post-mining projects in the EU: A) Emscher Park, Ruhr Area, Germany; B) Duisburg-Nord Landscape Park, Ruhr Area, Germany; B) Zollverein Gold Mine, Essen, Germany; Г) Lorraine Coal Basin Memorial Park, France



Рис. 2. Примеры успешных объектов пост-майнинга в США и Канаде: А) Медно-порфировое месторождение Беркли Пит, Монтана, США; Б) Карьер Бингем-Каньон, Юта, США; В) Карьер Сен-Мартен, Онтарио, Канада; Г) Железрудный карьер Страттон-Айрон-Майн, Колорадо, США

Fig. 2. Examples of successful post-mining projects in the USA and Canada: A) Berkeley Pit porphyry copper deposit, Montana, USA; Б) Bingham Canyon open pit mine, Utah, USA; CB) St. Martin open pit mine, Ontario, Canada; Г) Stratton Iron Mine iron ore mine, Colorado, USA

Таблица 3. Опыт США и Канада в развитии пост-майнинга 4.0-5.0  
Table 3. US and Canada experience in developing post-mining 4.0-5.0

Регион	Ключевые проекты и объекты	Концепция	Элементы и технологии
Бьютт (Монтана, США)	Медно-порфировое месторождение Беркли Пит (Berkeley Pit), один из крупнейших карьеров в мире, 1998 г. – н.в. [27]	Инженерно-экологическая ремедиация + ответственный туризм	Высокотехнологичная водоочистная станция, плотная сеть химического состава воды, развитие образовательного туризма
Медный рудник Кеннекотт (Юта, США), компания Rio Tinto	Гигантский карьер Бингем-Каньон (Bingham Canyon) и прилегающие к нему объекты инфраструктуры, 2006 г. – н.в. [28]	Создание самоподдерживающейся экосистемы на месте хвостохранилищ	Создание устойчивых водно-болотных угодий на месте бывших хвостохранилищ, высадка специфических видов растений-фиторемедиантов, восстановление миграции птиц
Карьеры Онтарио и Квебека (Канада)	Карьеры Актин (Acton Quarry), Онтарио, Сен-Мартен (Saint Martin), Квебек, 2002 г. – н.в. [29]	Многофункциональные общественные пространства и инфраструктура	Застройка жилыми и коммерческими объектами вокруг рекультивированных карьеров
Угольные разрезы Вайоминга и Монтаны (США)	Угольные разрезы в регионе Powder River Basin, 2011 г. – н.в. [30]	Восстановление прерий и развитие ранчо	Точное восстановление топографии, воссоздание почвенного покрова, восстановление экосистемы прерий и возвращение к своему первоначальному назначению – сельское хозяйство и скотоводство
Страттон-Айрон-Майн (Колорадо, США)	Железорудный карьер, 2012 г. – н.в. [31]	Преобразование в энергетический хаб для возобновляемой энергетики	Использование самого карьера в качестве нижнего резервуара для гидроэлектростанции, которая аккумулирует избыточную энергию от ветряных и солнечных электростанций

заключается не в выборе одной функции (парк или музей), а в их сочетании (парк и музей, и научный центр, и энергообъект). При этом европейские объекты пост-майнинга чаще всего не изолированы, а стали новыми центрами притяжения для городов, что соответствует концепции «urban mining», в которой инвестиции окупаются за счет создания новых рабочих мест, притока туристов и развития смежных отраслей (Рис. 1).

В Северной Америке доминирует проактивный и регулируемый подход к пост-майнингу – «замыкание жизненного цикла» добычи полезных ископаемых, когда основная ответственность на ревитализацию возлагается на недропользователя. Основной целью здесь является возврат восстановленных земель

местным сообществам, главным образом коренным народам. Законодательная основа пост-майнинга в Северной Америке сформирована законодательным актом США «Закон о контроле за поверхностными горными работами и рекультивации (SMCRA)» и Канады – «Закон о финансовом обеспечении рекультивации». Финансовые механизмы пост-майнинга в Северной Америке представляют собой «залог под рекультивацию» (добывающая компания обязана предоставить залог на полную стоимость восстановления до начала работ). Опыт успешных кейсов пост-майнинга в Северной Америке представлен в Таблице 3

Таблица 4. Опыт Австралии в развитии пост-майнинга 3.0-4.0

Table 4. Australia experience in developing post-mining 3-0-4.0

Регион	Ключевые проекты и объекты	Концепция	Элементы и технологии
Западная Австралия	Супер-Карьер Аргайл (Argyle Super Quarry) – крупнейшее предприятие по добыче розовых алмазов, 2006 г. – н.в. [32]	Восстановление традиционной экосистемы и возвращение земель традиционным владельцам	Рекультивация хвостохранилищ, восстановление биоразнообразия, возвращение земель коренным народам для традиционного природопользования и культурного туризма
Маунт-Айза (Квинсленд)	Гигантский медно-свинцово-цинковый рудник Маунт-Айза (Mount Isa mine), работавший почти 100 лет, 1998-2015 гг. [33]	Активный инженерный контроль и создание новой полезной функции	Озеленение отвалов вскрышных пород и хвостохранилищ, покрытых специальными материалами (геомембранами)
Рудник «Кидстон» (Kidston Mine), Квинсленд	Рудник Кидстон Золотой рудник, отработанный в 2000-х годах, 2010 г. – н.в. [34]	Трансформация в крупнейший хаб возобновляемой энергетики	Строительство крупных солнечной и гидроаккумулирующей электростанций и ветропарка
Калгурли (Calgurly), Западная Австралия	Многочисленные золотые рудники в условиях аридной пустыни, 2015 г. – н.в. [35]	Восстановление аутентичной пустынной экосистемы с помощью биотехнологий	Использование штаммов бактерий для биоремедиации и растений для фиторемедиации, создание «биокорки» – слоя из лишайников и цианобактерий, стабилизирующих поверхность почвы
Норпар (Norpar), Северная Территория	Один из первых в Австралии урановый рудник, закрытый в 1960-х гг., 2008 г. – н.в. [36]	Сохранение и управление дикой природой	Преобразование в национальный парк Какаду, объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, восстановление ландшафта, развитие культурного туризма

Североамериканский опыт пост-майнинга свидетельствует о приоритете использования передовых и дорогостоящих инженерных решений для решения сложных экологических проблем (токсичные воды, хвосты). Также цели пост-майнинга в США часто утилитарны и соответствуют уровням пост-майнинга 4.0-5.0 – возвращение нарушенных земель в сельскохозяйственный оборот, создание рекреационных зон, решение проблем с водоснабжением местных сообществ (Рис. 2). Вместе с тем проекты по преобразованию карьеров в гидроэлектростанции показывают, что пост-майнинг может стать частью решения глобальных проблем, таких как переход на возобновляемую энергетику.

В Австралии развитие пост-майнинга стимулируется жестким законодательством, формируемым не на общегосударственном уровне, а штатами (Западная Австралия, Квинсленд, Новый Южный Уэльс и др.) самостоятельно, и финансовыми гарантиями, предоставляемыми горнодобывающими компаниями для полного обеспечения восстановления экосистем, с учетом различных рисков и инфляции. При этом основным экологическим приоритетом пост-майнинга в Австралии является управление водными ресурсами, а социально-экономическим – защита прав коренных народов и возврат их земель. Успешные австралийские проекты пост-майнинга приведены в Таблице 4.





Рис. 3. Примеры успешных объектов пост-майнинга в Австралии: А) Супер-Карьер Аргайл, Западная Австралия; Б) Медно-свинцово-цинковый рудник Маунт-Айза, Квинсленд, Австралия; В) Рудник Кидстон, Квинсленд, Австралия; Г) Рудник в районе Калгурли, Западная Австралия  
 Fig. 3. Examples of successful post-mining projects in Australia: A) Argyle Super Quarry, Western Australia; B) Mount Isa Copper-Lead-Zinc Mine, Queensland, Australia; B) Kidston Mine, Queensland, Australia; Г) Kalgoorlie Mine, Western Australia

Опыт Австралии в реализации пост-майнинга свидетельствует о начальном этапе перехода к пост-майнингу (2.0-3.0) вследствие наличия больших незаселенных территорий и о достаточно узких экологических требованиях – восстановлении водных ресурсов и нарушенных земель (Рис. 3).

Концептуальные основы пост-майнинга 6.0, динамично развивающегося в странах Евросоюза и служащего ориентиром для США и Австралии, включают в себя следующие составляющие:

1. Определение пост-майнинга 6.0 – как стратегической парадигмы управления жизненным циклом горнопромышленной территории, которая на этапе ее закрытия предполагает целенаправленное проектирование и создание интеллектуального, многофункционального эколого-экономического кластера, основанного на синергии цифровых технологий, принципов циркулярной экономики, биоэкономики и социокультурных инноваций, с целью достижения максимального синергетического эффекта для региона.

2. Цифровая основа управления данными о восстановлении окружающей среды, экономической активности и социальных связей местного сообщества – цифровой двойник территории, который включает в себя 3D-геологическую и гидрогеологическую модели, прогнозирующую фильтрацию вод,

устойчивость откосов, сеть IoT-датчиков, в реальном времени передающих данные о качестве воды и воздуха, состоянии грунтов, параметрах работы энергоустановок – солнечных, ветряных, гравитационных, геотермальных и гидроэлектростанций.

3. Интеллектуальная система поддержки принятия решений на основе методов искусственного интеллекта и машинного обучения, которая анализирует поступающие данные и предлагает оптимальные управленческие сценарии.

4. Циркулярная экономика, направленная на замыкание материальных потоков – геотехнологическая оценка отвалов, создание модульных обогащительных комплексов, переработка вскрышных пород, использование дренажных и шахтных вод.

5. Биоэкономика и агротехника, обеспечивающая использование биологического потенциала территории – террасирование отвалов, создание вертикальных ферм и тепличных комплексов, аквапонических и гидропонических систем в карьерных водоемах, фиторемедиация (высадка специальных видов растений, способных аккумулировать тяжелые металлы и очищать почву).

6. «Зеленая» энергетика – превращение ревитализируемого горнопромышленного района в нетто-генератора энергии за счет размещения



фотоэлектрических панелей на пологих склонах и ветроэнергетических установок на возвышенных участках отвалов, а также за счет гидроаккумулирующих электростанций, использующих карьерные озера на различных уровнях.

7. Социотехническая интеграция – создание полевых лабораторий для студентов и ученых, развитие экологического, промышленного, спортивного туризма, проведение фестивалей, создание арт-резиденций, музеев горного дела.

Таким образом, реализация лучших практик пост-майнинга, развиваемых в странах Евросоюза, добывающих кластерах Северной Америки и Австралии, должна способствовать трансформации промышленного прошлого старопромышленных районов добычи полезных ископаемых в точку роста, а не в символ упадка. Шестое поколение технологий пост-майнинга позволяет преодолеть монозависимость и диверсифицировать экономику территорий с интенсивной добычей полезных ископаемых.

Рассмотренная парадигма пост-майнинга 6.0 представляет собой научно обоснованную и технологически реализуемую модель перехода от затратной ликвидации последствий горных работ к созданию инновационных, устойчивых кластеров, генерирующих добавленную стоимость. Ключевым фактором успеха является синергия между составляющими пост-майнинга 6.0, управляемая через единую цифровую платформу. Реализация концепции требует изменения нормативно-правовой базы, в частности, разработки федерального закона «О пост-майнинге», который бы стимулировал недропользователей к комплексному восстановлению территорий через механизмы государственно-частного партнерства и налоговые льготы. В свою очередь для Российской Федерации требуется адаптация зарубежных подходов для условий Арктики и других уязвимых экосистем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиронкин С. А., Коновалова М. Е., Гасанов Э. А., Абу-Абед Ф. Н., Тинтин Ху. Майнинг 6.0 и пост-майнинг // Вестник КузГТУ. 2025. № 4. С. 157-168.
2. Абу-Абед Ф. Н. Применение технологий интеллектуального управления и бизнес-проектирования индустрии 5.0 в Майнинге 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. №3. С. 50-59.
3. Шубин А. А. Задачи постмайнинга в период активизации техногенных процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 3. С. 115-117.
4. Коврижных Е. В., Косолапов А. И., Гришин А. А. Обоснование параметров бортов карьера горевского месторождения по результатам сравнительного анализа расчетов устойчивости // Вестник КузГТУ. 2025. № 2. С. 155-166.
5. Major V., Svarcova V., Hendrychova M. Water quality of reclaimed lakes in post-mining locations of Czech Republic // Environment Monitoring Assess. 2025. Vol. 197. Pp. 1073.
6. Simpson G. B., Ferguson K., Slingerland N., Jewitt GP. W., Alekseenko A. V., Simpson Z. Z., Ennis-John J., Hattingh R., Stock K. Integrating the sustainable development goals into postmining land use selection // Scientific Reports. 2025. Vol. 15(1). Pp. 1-24.
7. Saputra R., Hanum W.N. Post-Mining Land Use Regulations and Practices in the United States of America: Lesson for Indonesia // Journal of Law Environmental and Justice. 2025. Vol. 3(1). Pp. 104-133.
8. Saputra R., Zaid M., Gunawan M. M., Wu Pei-Chi. Ecological justice in Indonesia and China post-mining land use? // Journal of Law Environmental and Justice. 2024. Vol. 2(3). Pp. 254-284.
9. Dehkhoda S., Chung T., Flatten A., Levkovitch V. Hydromechanical Simulation of Post-Mining Flooding and Associated Seismicity // Proceedings of Conference “Eurock 2025 – Expanding the Underground Space, ISRM International Symposium”, 16-20 June 2025, Trondheim, Norway. Pp. 136-170.
10. Herdiyant H., Suyanto B., Mas'udah, S. Social capital and ecological transformation in post-mining land restoration in Indonesia // Journal of the Human Environment. 2025. Vol. 4. Pp. 123-134.
11. Dwiharto A., Djumarno D., Riyanto S., Permiana D. Sustainable Post-mining Management is a Practical Solution in Ecology Restoration and Green Energy Innovation // KnE Social Sciences. 2025. Vol. 10(21). Pp. 103-112.
12. Pratiwi P., Narendra B.H., Siregar C.A., Iskandar I. Tin Mining and Post-Tin Mining Reclamation Initiatives in Indonesia: With Special Reference to Bangka Belitung Areas // Land. 2025. Vol. 14(10). Pp. 1947.
13. Post-Mining Network. Architecture, Landscape, and Design in Post-Mining Territories. New York : Routledge, 2025. 238 p.
14. Niederhuber N., Rische M., Muller B., Rockel T. Geomechanics of Flooding-Induced Microseismicity – Implications for Post-Mining Environments // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2025. Vol. 130(9). Pp. 221-238.
15. Zeqiri K. Mining, mine closure, post-mining and transition / Proceedings of Conference “PODEK-POVEKS – 2024”. Ohrid, N. Macedonia. Pp. 87-98.
16. Marais L. Planning for post-mining economies: Misconceptions and opportunities // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2025. Vol. 125(4). Pp. 217-224.
17. Herman W., Iskandar I., Budi S.W., Pulunggono H.B. The contribution of vegetation

stratification and soil quality index in post-coal mining lands // Journal of Degraded and Mining Lands Management. 2025. Vol. 12(5). Pp. 8647-8661.

18. Kretschmann J., Goerke-Mallet P., Dauber C., Hegemann M. Post-mining for a better future: The development of the research centre of post-mining at the TH Georg Agricola University / Proceedings of the 32nd SOMP Annual Meeting and Conference 2022 Windhoek Country Club & Resort, 8-24 September 2022, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Pp.177-186.

19. Kretschmann J., Efremenkova A.B., Khoreshok A.A. From Mining to Post-Mining: The Sustainable Development Strategy of the German Hard Coal Mining Industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 50. Pp. 012024.

20. Яночко Ю., Чеклар М., Симкова З. "Браунфилд" как методология ревитализации экономики горнодобывающих территорий // Экономика и управление инновациями. 2017. №3 (3). С. 32-45.

21. Жиронкин С. А., Жиронкина О. В., Коновалова М. Е., Тинтин Ху. К вопросу о перспективах майнинга 6.0 – природоцентричной геотехнологии второй половины 21 в. // Вестник КузГТУ. 2025. № 2. С. 144-154.

22. Международная строительная выставка «Эмшер-Парк». URL: <https://www.internationale-bauausstellungen.de/en/history/1989-1999-iba-emscher-park-a-future-for-an-industrial-region> (последнее обращение: 03.10.2025).

23. Ландшафтный парк Дуйсбург-Норд. URL: <https://landschaftspark.de/> (последнее обращение: 03.10.2025).

24. Золотая шахта Цольферайн (Zeche Zollverein), Эссен. URL: <http://www.route-industriekultur.de/ankerpunkte/zeche-zollverein/zeche-zollverein.html> (последнее обращение: 03.10.2025).

25. Парк «Мемориал Лотарингского угольного бассейна». URL: [https://www.auvergne-](https://www.auvergne-destination.com/fiches/memorial-de-la-mine)

[destination.com/fiches/memorial-de-la-mine](https://www.auvergne-destination.com/fiches/memorial-de-la-mine) (последнее обращение: 03.10.2025).

26. Медный рудник «Пюхясалми» (Финляндия). URL: <https://www.powerengineeringint.com> (последнее обращение: 03.10.2025).

27. Медно-порфировое месторождение «Беркли Пит». URL: <https://pitwatch.org> (последнее обращение: 03.10.2025).

28. Карьер Бингем-Каньон. URL: <https://www.riotinto.com/en/operations/us/kennecott> (последнее обращение: 03.10.2025).

29. Карьер «Сен-Мартен». URL: <https://www.pitandquarry.com/dufferin-aggregates-operation-earns-ossqa-safety-award> (последнее обращение: 03.10.2025).

30. Угольные разрезы в регионе Powder River Basin. URL: <https://novilabs.com/powder-river-basin> (последнее обращение: 03.10.2025).

31. Бывший объект: Железорудный карьер «Страттон-Айрон-Майн». URL: <https://www.usbr.gov/uc/rm/crsp/> (последнее обращение: 03.10.2025).

32. Супер-Карьер «Аргайл». URL: [https://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc\\_images/australia/argyle/argyle.html](https://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc_images/australia/argyle/argyle.html) (последнее обращение: 03.10.2025).

33. Медно-свинцово-цинковый рудник Маунт-Айза. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mount\\_Isa\\_Mine\\_Early\\_In\\_frastructure](https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Isa_Mine_Early_In_frastructure) (последнее обращение: 03.10.2025).

34. Рудник «Кидстон». URL: <https://genexpower.com.au/50mw-kidston-solar-project> (последнее обращение: 03.10.2025).

35. Рудники в районе Калгурли. URL: <https://www.nsrld.com> (последнее обращение: 03.10.2025).

36. Northern Territory Bioregions – assessment of key biodiversity values and threats. Darwin, Northern Territory : Biodiversity Group, 2005. 195 p.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Жиронкин Сергей Александрович**, доктор экон. наук, профессор, e-mail: [zhironkinsa@kuzstu.ru](mailto:zhironkinsa@kuzstu.ru)  
Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**Кудреватых Андрей Валерьевич**, канд. тех. наук, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, e-mail: [kav.ea@kuzstu.ru](mailto:kav.ea@kuzstu.ru)

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**Коновалова Мария Евгеньевна**, доктор экон. наук, профессор, e-mail: [ecun@sseu.ru](mailto:ecun@sseu.ru)  
Самарский государственный экономический университет, 443090, Россия, г. Самара, ул. Советской Армии, 141

**Абу-Абед Фарес Надимович** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: [aafaes@tstu.tver.ru](mailto:aafaes@tstu.tver.ru)  
Тверской государственный технический университет, 170026 г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22

**Жиронкина Ольга Валерьевна**, кандидат пед. наук, доцент, e-mail: [o-zhironkina@mail.ru](mailto:o-zhironkina@mail.ru)

Кемеровский государственный университет, 650000 г. Кемерово, ул. Красная, 6

*Заявленный вклад авторов:*

Жиронкин Сергей Александрович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, работа с редакцией.

Коновалова Мария Евгеньевна – обзор существующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста.

Абу-Абед Фарес Надимович – сбор и анализ данных, оформление статьи по требованиям.

Жиронкина Ольга Валерьевна – сбор и анализ данных, оформление статьи по требованиям.

Кудреватых Андрей Валерьевич – обзор существующей литературы, оформление статьи по требованиям.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

### FROM POST-MINING 1.0 TO 6.0 – ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE

Sergey A. Zhironkin<sup>1</sup>, Andrey V. Kudrevatykh<sup>1</sup>,

Maria E. Konovalova<sup>2</sup>, Fares N. Abu-Abed<sup>3</sup>

Olga V. Zhironkina<sup>4</sup>

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup> Samara State Economic University

<sup>3</sup> Tver State Technical University

<sup>4</sup> Kemerovo State University

\* for correspondence: zhironkinsa@kuzstu.ru



#### Article info

Received:

01 October 2025

Accepted for publication:

15 November 2025

Accepted:

02 December 2025

Published:

22 December 2025

**Keywords:** post-mining, mineral extraction, revitalization, recycling, mining regions.

#### Abstract.

*The article analyzes international post-mining experience, focusing on successful cases from the European Union, North America, and Australia, in connection with an assessment of legislation on mining clusters' revitalization. The article presents the main post-mining 6.0 technologies being implemented in various countries. The authors identify the stages of post-mining development in the 20th century, reflecting the evolution of its paradigm and the development of technologies for the comprehensive restoration of natural and social-and-economic ecosystems in mining clusters. Differences in the generations of post-mining technologies in various countries are also substantiated. The article presents the components of the post-mining 6.0 system, including its definition, the digital basis for revitalization data management, a decision-making support system using artificial intelligence and machine learning, measures for closing the material flows of mining territories, bioeconomics and agricultural technology, green energy, and socio-technical integration. Legislation in various countries is analyzed, national characteristics of the evolution of post-mining technologies are highlighted, and recommendations for its development in Russia are provided.*

**For citation:** Zhironkin S.A., Kudrevatykh A.V., Konovalova M.E., Abu-Abed F.N., Zhironkina O.V. From post-mining 1.0 to 6.0 – analysis of foreign experience. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):114-126. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-114-126, EDN: MWOWQJ

#### REFERENCES

1. Zhironkin S.A., Konovalova M.E., Gasanov Je.A., Abu-Abed F.N., Tintin Hu. Majning 6.0 i post-majning. *Vestnik KuzGTU*. 2025; 4:157-168.

2. Abu-Abed F.N. Primenenie tehnologij intellektual'nogo upravleniya i biznes-proektirovaniya

industrii 5.0 v Majninge 5.0. *Jekonomika i upravlenie innovacijami*. 2022; 3:50-59.

3. Shubin A.A. Zadachi postmajninga v period aktivizacii tehnogennyh processov. *Gornyy informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2006; 3:115-117.

4. Kovrizhnyh E.V., Kosolapov A.I., Grishin A.A. Obosnovanie parametrov bortov kar'era gorevskogo mestorozhdeniya po rezul'tatam sravnitel'nogo analiza raschetov ustojchivosti. *Vestnik KuzGTU*. 2025; 2:155-166.
5. Major V., Svarcova V., Hendrychova M. Water quality of reclaimed lakes in post-mining locations of Czech Republic. *Environment Monitoring Assess.* 2025; 197:1073.
6. Simpson G.B., Ferguson K., Slingerland N., Jewitt G.P.W., Alekseenko A.V., Simpson Z.Z., Ennis-John J., Hattingh R., Stock K. Integrating the sustainable development goals into postmining land use selection. *Scientific Reports*. 2025; 15(1):1-24.
7. Saputra R., Hanum W.N. Post-Mining Land Use Regulations and Practices in the United States of America: Lesson for Indonesia. *Journal of Law Environmental and Justice*. 2025; 3(1):104-133.
8. Saputra R., Zaid M., Gunawan M.M., Wu Pei-Chi. Ecological justice in Indonesia and China post-mining land use? *Journal of Law Environmental and Justice*. 2024; 2(3):254-284.
9. Dehkhoda S., Chung T., Flatten A., Levkovitch V. Hydromechanical Simulation of Post-Mining Flooding and Associated Seismicity. *Proceedings of Conference "Eurock 2025 – Expanding the Underground Space, ISRM International Symposium"*. 16-20 June 2025, Trondheim, Norway. Pp. 136-170.
10. Herdiyant H., Suyanto B., Mas'udah, S. Social capital and ecological transformation in post-mining land restoration in Indonesia. *Journal of the Human Environment*. 2025; 4:123-134.
11. Dwiharto A., Djumarno D., Riyanto S., Permana D. Sustainable Post-mining Man-agement is a Practical Solution in Ecology Restoration and Green Energy Innovation. *KnE Social Sciences*. 2025; 10(21):103-112.
12. Pratiwi P., Narendra B.H., Siregar C.A., Iskandar I. Tin Mining and Post-Tin Mining Reclamation Initiatives in Indonesia: With Special Reference to Bangka Belitung Areas. *Land*. 2025; 14(10):1947.
13. Post-Mining Network. Architecture, Landscape, and Design in Post-Mining Territories. New York: Routledge; 2025. 238 p.
14. Niederhuber N., Rische M., Muller B., Rockel T. Geomechanics of Flooding-Induced Microseismicity – Implications for Post-Mining Environments. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2025; 130(9):221-238.
15. Zeqiri K. Mining, mine closure, post-mining and transition. *Proceedings of Conference "PODEK-POVEKS – 2024"*. Ohrid, N. Macedonia. Pp. 87-98.
16. Marais L. Planning for post-mining economies: Misconceptions and opportunities. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2025; 125(4):217-224.
17. Herman W., Iskandar I., Budi S.W., Pulunggono H.B. The contribution of vegetation stratification and soil quality index in post-coal mining lands. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2025; 12(5):8647-8661.
18. Kretschmann J., Goerke-Mallet P., Dauber C., Hegemann M. Post-mining for a bet-ter future: The development of the research centre of post-mining at the TH Georg Agricola University. *Proceedings of the 32nd SOMPA Annual Meeting and Conference 2022 Windhoek Country Club & Resort*. 8-24 September 2022, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Pp.177-186.
19. Kretschmann J., Efremkov A.B., Khoreshok A.A. From Mining to Post-Mining: The Sustainable Development Strategy of the German Hard Coal Mining Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 50:012024.
20. Janochko Ju., Cheklar M., Simkova Z. "Braunfeld" kak metodologiya revitalizatsii jekonomiki gornodobyvajushhih territorij. *Jekonomika i upravlenie innovacijami*. 2017; 3(3):32-45.
21. Zhironkin S.A., Zhironkina O.V., Konovalova M.E., Tintin Hu K voprosu o perspektivah majninga 6.0 – prirodocentrichnoj geotehnologii vtoroj poloviny 21 v. *Vestnik KuzGTU*. 2025; 2:144-154.
22. Mezhdunarodnaja stroitel'naja vystavka «Jemsher-Park». URL: <https://www.internationale-bauausstellungen.de/en/history/1989-1999-iba-emscher-park-a-future-for-an-industrial-region> (last access: 03.10.2025).
23. Landschaftnyj park Dujsburg-Nord. URL: <https://landschaftspark.de/> (last access: 03.10.2025).
24. Zolotaja shahta Col'ferajn (Zeche Zollverein), Jessen. URL: <http://www.route-industriekultur.de/ankerpunkte/zeche-zollverein/zeche-zollverein.html> (last access: 03.10.2025).
25. Park «Memorial Lotaringskogo ugol'nogo bassejna». URL: <https://www.auvergne-destination.com/fiches/memorial-de-la-mine> (last access: 03.10.2025).
26. Mednyj rudnik «Pjuhjasalmi» (Finljandija). URL: <https://www.powerengineeringint.com> (last access: 03.10.2025).
27. Medno-porfirovoe mestorozhdenie «Berkli Pit». URL: <https://pitwatch.org> (last access: 03.10.2025).
28. Kar'er Bingem-Kan'on. URL: <https://www.riotinto.com/en/operations/us/kennecott> (last access: 03.10.2025).
29. Kar'er «Sen-Marten». URL: <https://www.pitandquarry.com/dufferin-aggregates-operation-earns-ossaga-safety-award> (last access: 03.10.2025).
30. Ugol'nye razrezy v regione Powder River Basin. URL: <https://novilabs.com/powder-river-basin> (last access: 03.10.2025).
31. Byvshij ob'ekt: Zhelezorudnyj kar'er «Stratton-Ajron-Majn». URL: <https://www.usbr.gov/uc/rm/crsp/> (last access: 03.10.2025).
32. Super-Kar'er «Argajl». URL: [https://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc\\_images/australia/argyle/argyle.html](https://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc_images/australia/argyle/argyle.html) (last access: 03.10.2025).



33. Medno-svincovo-cinkovyj rudnik Maunt-Ajza. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mount\\_Isa\\_Mine\\_Early\\_Infrastructure](https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Isa_Mine_Early_Infrastructure) (last access: 03.10.2025).

34. Rudnik «Kidston». URL: <https://genexpower.com.au/50mw-kidston-solar-project> (last access: 03.10.2025).

35. Rudniki v rajone Kalgurli. URL: <https://www.nsrld.com> (last access: 03.10.2025).

36. Northern Territory Bioregions – assessment of key biodiversity values and threats. Darwin, Northern Territory: Biodiversity Group; 2005. 195 p.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

**Galina A. Lipina**, senior lecturer of the Department of Mathematics, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation, 7676-5937, e-mail: [galipina@yandex.ru](mailto:galipina@yandex.ru)

**Artem V. Lipin**, chief engineer of LCC «Somerset international Russia» 143026, Moscow region, Odintsovo, Skolkovo, Novaya st., bldg. 100, e-mail: [lipiav@mail.ru](mailto:lipiav@mail.ru).

*Contribution of the authors:*

Sergey A. Zhironkin – review of existing literature, formulation of a research task, scientific management, working with the editorial board.

Andrey V. Kudrevatykh – review of existing literature, article preparation according to requirements.

Maria E. Konovalova – review of existing literature, data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements.

Fares N. Abu-Abed – data collection and analysis, article design according to requirements.

Olga V. Zhironkina – data collection and analysis, article preparation according to requirements.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

