

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.235

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-165-175

ПОСТ-МАЙНИНГ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ: СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ОПЫТ КИТАЯ

Жиронкин Сергей Александрович¹, Жиронкина Ольга Валерьевна²,
Коновалова Мария Евгеньевна³,

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² Кемеровский государственный университет

³ Самарский государственный экономический университет

* для корреспонденции: zhironkinsa@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

18 января 2026 г..

Одобрена после
рецензирования:

31 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

29 июня 2026 г.

Ключевые слова:

пост-майнинг,
горнодобывающих
территории, Китай,
Индустрия 4.0,
рекультивация, ревитализация
жизненным циклом.

Аннотация.

Статья посвящена системному анализу технологий и практик пост-майнинга в Китайской Народной Республике – стране, столкнувшейся с наиболее масштабными в мире последствиями горнодобывающей деятельности. Цель статьи – систематизировать и проанализировать китайский опыт использования технологий Индустрии 4.0 в развитии пост-майнинга, аккумуляции необходимых финансовых ресурсов и становления государственно-частного партнерства пост-майнинга. Гипотеза исследования заключается в том, что интеграция пост-майнинга в систему государственного стратегического планирования и его реализация на платформе Индустрии 4.0 позволяет вплотную приблизиться к полному восстановлению природной экосистемы и хозяйственно-экономической деятельности нарушенных горными работами территорий. Исследование охватывает эволюцию нормативно-правового поля, институциональные механизмы, ключевые технологические решения и финансовые модели, сформировавшиеся за последние два десятилетия. Особое внимание уделено интеграции задач восстановления нарушенных земель в концепцию «строительства экологической цивилизации». На основе сравнительного анализа выявляются успехи, вызовы и ограничения китайской модели пост-майнинга, а также формулируются рекомендации для других ресурсно-зависимых экономик, включая российскую. Доказано, что китайский опыт демонстрирует возможность перехода от реагирования на экологические катастрофы в горнодобывающих кластерах к превентивному, системному и экономически мотивированному управлению их жизненным циклом.

Для цитирования: Жиронкин С.А., Жиронкина О.В., Коновалова М.Е. Пост-майнинг в горнодобывающих районах: стратегический опыт Китая // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 2 (174). С. 165-175. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-165-175, EDN: ITAWOH

Горнодобывающая промышленность – фундамент индустриального развития, обеспечивающий человечество минерально-сырьевыми ресурсами. Однако ее «экологический след» – нарушенные ландшафты, отвалы, хвостохранилища, загрязненные почвы и водотоки – представляет

собой одно из наиболее трудноразрешимых наследий промышленного развития всех без исключения индустриальных стран. Проблема пост-майнинга приобрела глобальный характер, но ее острота и масштаб в Китае отличается особой значимостью [1].

Будучи мировым лидером по добыче угля,

железной руды, редкоземельных элементов и многих других полезных ископаемых (Рис. 1), Китай подошел к началу XXI в. со значительными экологическими проблемами в горнодобывающих районах. Стремительная индустриализация при развивающемся экологическом регулировании привела к деградации миллионов гектаров земель, росту социальной напряженности в горнопромышленных регионах и прямым угрозам продовольственной безопасности и здоровью населения [2].

Как следует из данных Рис. 1, объемы добычи угля за 2013-2023 гг. в Китае выросли на 25%, железной руды – 41%, медного концентрата –

21%. Особо быстрый рост наблюдается в добыче редкоземельных металлов (155%), добыче бокситов и выплавке алюминия (90%) – Рис. 2.

В свою очередь подтверждением значительных масштабов нарушенных земель и загрязненных водных источников в Китае является высокая доля его добывающей отрасли в мировой добыче различных видов сырья (Рис. 3).

Как следует из данных Рис. 3, несмотря на некоторое снижение к 2023 г., доля Китая в мировой добыче железной руды составила 31%, редкоземельных металлов превышает 60%, угля – 50% (рост на 10% в 2013-2023 гг.), в выплавке алюминия – 60%. Следовательно, существуют

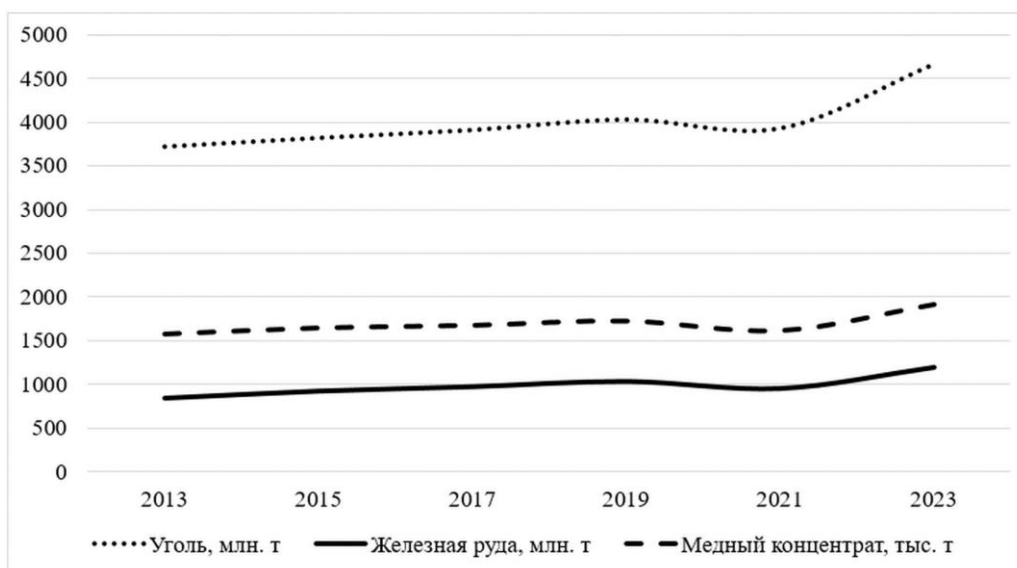


Рис. 1. Объемы добычи угля, железной руды и медного концентрата в Китае
Fig. 1. Volumes of coal, iron ore and copper concentrate production in China
(построено авторами по данным) [3–5]

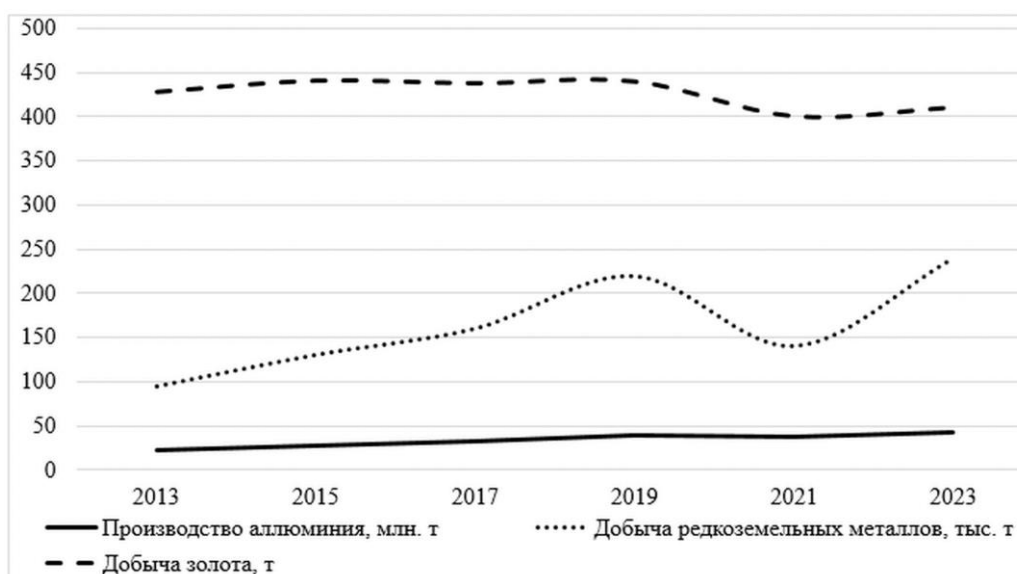


Рис. 2. Объемы добычи редкоземельных металлов и золота, производства алюминия в Китае
Fig. 2. Volumes of rare earth metal and gold mining, and aluminum production in China
(построено авторами по данным) [3–5]

объективные предпосылки увеличения техногенного воздействия на окружающую среду со стороны горнодобывающих предприятий в Китае.

Поэтому данная статья ставит целью не просто описание технологий рекультивации, а комплексный анализ управленческой парадигмы, позволившей Китаю переломить негативный тренд. Основная гипотеза заключается в том, что относительный успех Китая в сфере пост-майнинга обусловлен не столько отдельными инновациями, сколько их жесткой интеграцией в систему государственного планирования и контроля через принцип безусловной экономической ответственности недропользователя.

Либерализация экономики и децентрализация управления добывающим сектором Китая в 1980-90-е гг. привели к взрывному росту числа мелких и средних, часто незаконных, шахт и карьеров. Экологические нормы либо отсутствовали, либо повсеместно игнорировались в погоне за прибылью [6]. К середине 2000-х последствия стали катастрофическими – площадь земель, нарушенных горными работами в Китае, оценивалась в 3,2-3,6 млн га (что больше площади Бельгии или Московской области в 1,5 раза) с ежегодным приростом в 35-50 тыс. га [7].

Локализация добывающих кластеров Китая [8–12] с сильным техногенным воздействием на земельные и водные ресурсы [13–14] достаточно ярко выражена:

1. Угольные бассейны Севера и Северо-Востока (провинции Шаньси, Шэньси, Внутренняя Монголия, Хэбэй), на которые приходилось более 50% всех нарушений

земельных и водных ресурсов вследствие преобладания кластеров открытых горных работ (многочисленные разрезы с длиной карьерного поля в 4,5-7,5 км и глубиной 150-300 м). По всей стране накоплено более 4500 крупных отвалов от угледобычи, занимающих свыше 800 тыс. га и являющихся источниками постоянного пыления и эрозии. Только в провинции Шаньси площадь провалов превысила 5000 кв. км, что привело к разрушению тысяч зданий и дорог. Угольный кластер Шэнфу в Шэньси – крупнейший в Китае угольный бассейн площадью около 10 тыс. кв. км – на десятилетия стал символом экологической катастрофы. Интенсивная открытая добыча превратила плодородные лесовые плато в лунный ландшафт, изрезанный карьерами и усеянный отвалами. Местные реки были загрязнены или перенаправлены, уровень грунтовых вод упал на десятки метров, что сделало традиционное сельское хозяйство невозможным. Подземная добыча привела к образованию обширных зон просадки грунта. В середине 2000-х гг. город Линьфэнь (Шаньси), окруженный сотнями угольных шахт, коксохимических и металлургических заводов, был признан одним из самых загрязненных городов на планете. Уровень взвешенных частиц постоянно зашкаливал, небо было серо-желтым, реки черными. Выходить на улицу без респиратора было опасно для здоровья. Линьфэнь стал нарицательным именем экологического коллапса, вызванного горнодобывающей промышленностью [15].

2. Пояса добычи цветных, редких и редкоземельных металлов Юга и Юго-Запада (провинции Юньнань, Гуйчжоу, Гуанси, Хунань, Цзянси), фосфоритовые бассейны Центрального

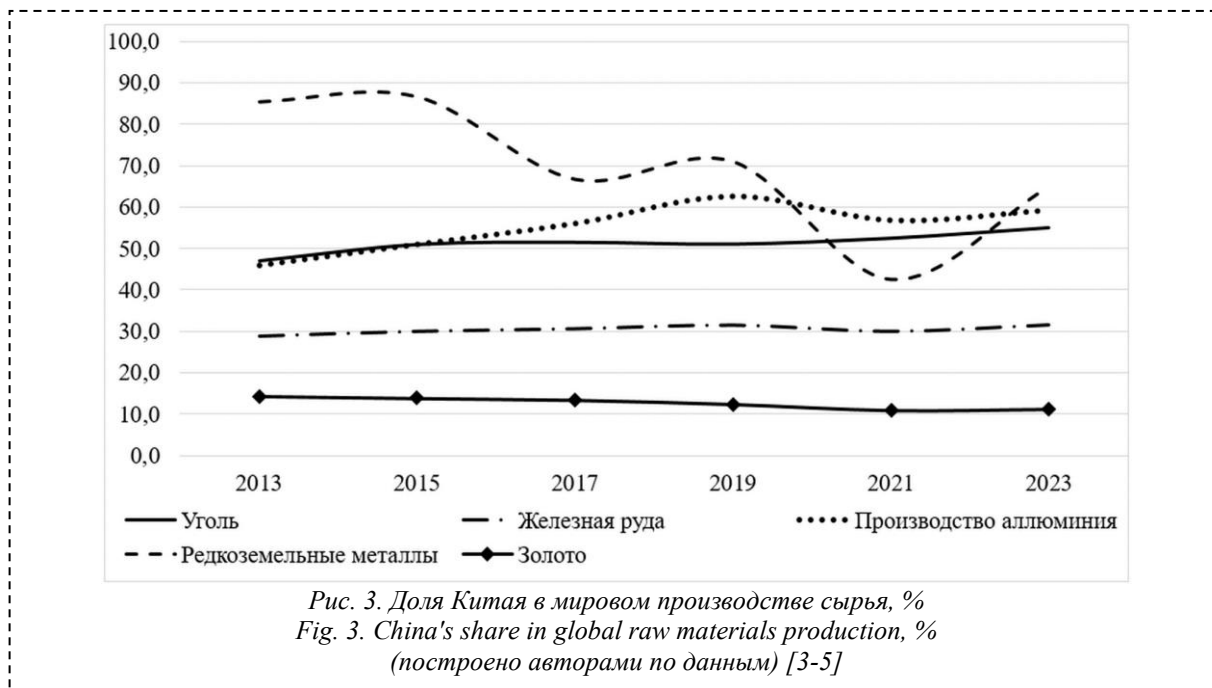


Рис. 3. Доля Китая в мировом производстве сырья, %
 Fig. 3. China's share in global raw materials production, %
 (построено авторами по данным) [3-5]

Китай (провинция Хубэй), характеризующиеся массированным загрязнением почвы и приповерхностных вод тяжелыми металлами и кислотным дренажем. На угольных и полиметаллических месторождениях юга (особенно в Гуйчжоу, Гуанси, Юньнани) тысячи заброшенных и действующих шахт генерируют постоянный поток кислотных вод, насыщенных железом, алюминием, марганцем, мышьяком, кадмием и свинцом. Нейтрализация этих вод требует колоссальных и постоянных затрат. Отвалы, хвостохранилища – мощнейшие источники взвешенных частиц, поэтому в ветреную погоду в регионах как Севера, так и Юга Китая возникают настоящие «черные бури», пыль в которых часто содержит тяжелые металлы и токсичные элементы. Обогащительные и металлургические комбинаты, часто расположенные непосредственно в горнодобывающих районах, вносят огромный вклад в выбросы диоксида серы (SO₂), оксидов азота (NO_x) и специфических веществ (например, фтористых соединений при производстве алюминия).

3. В районах добычи редкоземельных металлов (Баотоу, Внутренняя Монголия) и цветных металлов (Гуйчжоу, Хунань) хвостохранилища являются «бомбами замедленного действия», поскольку фильтрация и аварийные сбросы отравляют речные системы. Гигантское токсичное озеро-хранилище отходов в Баотоу (Байюнь-Эбо) стало символом экологических издержек добычи золота и цветных металлов. Открытая добыча угля в засушливых регионах (Шэньси, Внутренняя Монголия) требует масштабного водоотлива, что приводит к резкому падению уровня грунтовых вод, обмелению рек и исчезновению родников. Конкретный пример – река Сянцзян в Хунани, которую называют «рекой тяжелых металлов» [16]. В бассейне этой реки сосредоточена добыча и переработка свинца, цинка, кадмия, мышьяка. Десятилетия сбросов привели к тому, что концентрации кадмия и свинца в воде и донных отложениях многократно превышают ПДК. Это привело к всплеску онкологических заболеваний среди местного населения, появлению печально известных «раковых деревень». Государственная программа очистки реки, начатая в 2011 г., оценивается в сотни миллиардов юаней, но полная реабилитация займет многие годы.

Осознание проблемы на государственном уровне можно зафиксировать в середине 2000-х гг., когда работы по рекультивации были включены в 11-й Пятилетний план (2006-2010 гг.). Однако переломным моментом стал 12-й Пятилетний план (2011-2015 гг.) [17–18], где ревитализация нарушенных горными работами земель была выделена в отдельную целевую программу с конкретными социально-

экономическими, а не только экологическими показателями эффективности (KPI). Экологический кризис начал восприниматься как прямая угроза дальнейшему экономическому росту и легитимности правящей партии.

В результате к началу 2020-х гг. Китай выстроил многоуровневую систему регулирования, основанную на принципе «загрязнитель платит» и превентивном финансовом обеспечении будущих затрат на рекультивацию и ревитализацию социально-экономической деятельности в кластерах интенсивных горных работ. Центральным элементом стала «Система депозитов для восстановления горной геологической среды», законодательно закреплённая в конце 2000-х гг. и ужесточённая в 2017 г. Недропользователь обязан до начала работ внести на специальный эскроу-счет (блокированный) в местном банке депозит, размер которого рассчитывается по утвержденным Правительством Китая методикам, учитывающим тип полезного ископаемого, объем добычи, экологическую чувствительность территории. Такой депозит и может составлять значительную часть (до 112%) инвестиционных затрат. Деньги возвращаются компании поэтапно, только после приемки выполненных работ по рекультивации специальной межведомственной комиссией. Невыполнение обязательств ведет к безвозвратному списанию депозита в пользу государства, которое в таком случае организует рекультивационные работы самостоятельно. Такая система финансирования пост-майнинга кардинально меняет экономическую логику деятельности компаний-недропользователей. Затраты на восстановление перестают быть отложенными и неопределёнными, они становятся авансированной частью себестоимости добычи. Это стимулирует компании к планированию рекультивации параллельно с проектированием горнодобывающего предприятия и к поиску наиболее сбалансированных в отношении воздействия на экологию, а не только рентабельных решений.

В 2017 г. концепция «экологической цивилизации» была внесена в Устав Коммунистической партии Китая и Конституцию КНР [19]. Это не просто лозунг, а система оценки эффективности работы местных чиновников. Ключевые показатели экологического состояния (т. н. «зеленое ВВП») стали влиять на карьерный рост губернаторов и секретарей парткомов. В такой системе провал в рекультивации земель грозит чиновнику не выговором, а крахом карьеры. Это создало мощный административный ресурс для реализации экологической политики на местах и сформировало многоуровневую систему

государственного управления процессами рекультивации и пост-майнинга.

Первый – центральный – уровень (Министерство природных ресурсов и Министерство финансов Китая) отвечает за установление национальных стандартов пост-майнинга, стратегическое планирование, контроль за крупнейшими проектами ревитализации наиболее масштабных и критически значимых проектов.

Второй уровень (провинции, губернаторы регионов, председатели комитетов Коммунистической партии Китая) связан с адаптацией стандартов, созданием и управлением региональными фондами рекультивации, утверждением конкретных проектов и одобрением государственно-частных партнерств.

Третий – городской – уровень (мэры и городские советы) обеспечивает непосредственную организацию ревитализационных работ, текущий контроль над исполнением проектов, приемку объектов. Именно на данном уровне происходит основное взаимодействие властей с компаниями и местным населением.

Для реализации концепции «экологической цивилизации» используется дифференцированный подход, где выбор технологии определяется экономико-географическим контекстом будущего использования земли.

Так, в провинции Шаньси – главном кластере угледобычи – преобладает технология «заполнения и выравнивания», при помощи

которой мелкие и средние карьерные поля, а также отвалы послойно заполняются инертными строительными отходами, хвостами обогащения (после проверки на токсичность) или привозным грунтом. При переходе от простой рекультивации к редевелопменту создается новый, устойчивый рельеф, на восстановленных площадях нередко возводятся современные тепличные комплексы, что повышает экономическую отдачу и создает новые рабочие места. В густонаселенных регионах с дефицитом плодородных земель (например, в провинциях Шаньдун, Хэбэй, Цзянсу) приоритетом является их возврат в сельскохозяйственный оборот.

Биоинженерия склонов применяется для борьбы с эрозией на отвалах. Она включает в себя не просто засев травой, а возведение сложных конструкций из гео-сеток, био-матов и высаженных местных видов кустарников с развитой корневой системой. Это позволяет создавать парки на месте отвалов, что характерно для многих промышленных городов Китая (Ханьдань, Ухань), где неприглядные карьерные поля и отвалы превращены в зеленые зоны с прогулочными дорожками и панорамными видами, улучшая качество городской среды (Рис. 4).

Примером создания «зеленой» инфраструктуры в индустриальных зонах добычи полезных ископаемых является Шанхайский ботанический сад Чэньшань на месте заброшенного кварцитового карьера глубиной до 80 метров (многоуровневый ландшафтный парк с системой прудов, альпинариев и управляемым микроклиматом –



Рис. 4. Парк Цзышань в г. Ханьдань (провинция Хэбэй, Северный Китай) на месте угольного разреза [20]

Fig. 4. Zishan Park in Handan (Hebei Province, North China) on the site of a coal mine [20]

Рис. 5). Сегодня это не только объект успешной рекультивации, но и знаковый туристический, образовательный и исследовательский центр.

Фиторемедиация и восстановление в сложных ландшафтных и экологических условиях наиболее характерны для территорий, загрязненных тяжелыми металлами (такие как районы добычи цветных металлов на юге Китая). В кластерах, где физическое замещение загрязненных почв невозможно по экономическим причинам, делается ставка на фитотехнологии – селекцию и использование гипераккумулирующих растений. Она включает в себя масштабные научные программы по поиску и генетическому улучшению видов, способных аккумулировать в своей биомассе свинец, кадмий, мышьяк с последующим безопасным удалением и утилизацией (фитоэкстракция). Другой биологической технологии восстановления биоразнообразия в рамках пост-майнинга в Китае является фитостабилизация – заполнение земли видами растений, которые не накапливают, но прочно связывают металлы в корневой зоне, предотвращая их миграцию в грунтовые воды и распространение с пылью (подсолнечник, горчица, тысячелистник).

На обширных, относительно устойчивых нарушенных землях в засушливых западных провинциях (Ганьсу, Синьцзян) реализуется стратегия «двойного землепользования», когда наряду с восстановлением сельскохозяйственных земель там, где это возможно, отвалы и хвостохранилища, малопригодные для сельского хозяйства, используются для размещения

фотогальванических панелей и ветропарков. Это дает новую экономическую функцию территории, способствует энергопереходу и, затеняя поверхность, снижает пылеобразование и испарение.

Финансирование пост-майнинга в Китае носит многоуровневый и последовательный характер. Так, для основных вновь нарушаемых земель источником финансирования текущих природоохранных и будущих рекультивационных мероприятий являются депозиты недропользователей. Для ревитализации длительное время заброшенных объектов добычи полезных ископаемых, где фактический недропользователь неизвестен или обанкротился, формируются специальные государственные фонды (национальный и провинциальные) из средств, поступающих от аукционов на новые участки для недропользования, штрафов за экологические нарушения, бюджетных трансфертов. Наконец, для будущих участков разработки недр создаются государственно-частные партнерства, при которых частный инвестор финансирует капиталоемкую рекультивацию объекта, а взамен получает права на долгосрочную аренду части восстановленной территории для коммерческой эксплуатации (строительство торгово-развлекательных центров, отелей, логистических комплексов, объектов возобновляемой энергетики). Это превращает восстановление из статьи расходов в инвестиционный проект с рыночно привлекательной доходностью [22, 23].

Технологическая основа пост-майнинга в Китае представляет собой использование



Рис. 5. Шанхайский ботанический сад Чэньшань на месте заброшенного кварцитового карьера [21]
Fig. 5. Shanghai Chenshan Botanical Garden on the site of an abandoned quartzite quarry [21]

Индустрии 4.0 (четвертой промышленной революции) для трансформации ревитализационных мероприятий из затратной, реактивной деятельности в прецизионную, предиктивную и экономически эффективную систему управления жизненным циклом горнодобывающих территорий, что полностью соответствует национальной стратегии «экологической цивилизации» и «цифрового Китая». К числу таких технологий относятся [24–26]:

1. Цифровые двойники – динамические виртуальные копии нарушенного объекта (карьера, отвала, хвостохранилища), интегрирующие геологические, гидрологические, биологические и инженерные данные для комплексного моделирования и управления рекультивацией. В частности, для угольных разрезов в Шаньси создаются комплексные 3D-модели, объединяющие данные лазерного сканирования (LiDAR) с беспилотных дронов и георадарные и геофизические данные о состоянии массивов горных пород. При помощи цифровых двойников моделируются различные сценарии рекультивации: варианты засыпки, профилирования склонов, схемы дренажа, прогноз просадок. Это позволяет выбрать оптимальный технико-экономический вариант до начала дорогостоящего горнотехнического этапа рекультивационных работ. Также цифровой двойник сможет использоваться как основа долгосрочного мониторинга после восстановления нарушенных земельных участков и источников пресной воды.

2. Интернет вещей и распределенные автономные сенсорные сети датчиков для предиктивного мониторинга состояния объектов ревитализации в режиме реального времени. В частности, на критических объектах в провинциях Сычуань, Юньнань развернуты сети датчиков, отслеживающих стабильность отвалов и хвостохранилищ (тензометры, инклинометры), уровень и давление поровых вод (пьезометры), химический состав дренажных вод (автоматические пробоотборники и анализаторы). Эти данные постоянно загружаются в облачные платформы, где алгоритмы машинного обучения анализируют тренды и заблаговременно предупреждают о рисках оползней, прорывов дамб или усиления кислотного дренажа. Это позволяет перейти от реагирования на аварии к их предотвращению.

3. Дистанционное зондирование поверхности со спутников и дронов для регулярного мониторинга труднодоступных территорий. В частности, для спутникового мониторинга горнодобывающих районов Китая активно используются данные национальных (Gaofen) и совместных (Sentinel, Landsat) спутниковых группировок. Метод радиолокационной

интерферометрии (InSAR) применяется для отслеживания миллиметровых смещений поверхности на тысячах квадратных километров угольных бассейнов (Шаньси, Внутренняя Монголия), выявляя зоны опасных деформаций техногенных массивов и земной поверхности. Дроны с гиперспектральными камерами определяют степень и тип стресса у растений, высаженных на рекультивированных землях, что позволяет оценить успешность биологического этапа, наличие фитотоксичности или дефицита питательных веществ.

4. Большие данные и искусственный интеллект для объединенного анализа массивов исторических и текущих данных для выявления закономерностей, прогнозирования и принятия решений. В частности, на месторождениях цветных металлов Юга и Юго-Запада Китая развивается предиктивная аналитика кислотного дренажа за счет создания при помощи искусственного интеллекта моделей, обученных на данных с сотен шахт. Эти модели прогнозируют динамику образования кислотных вод в зависимости от геологии, климата и применяемых методов нейтрализации, что позволяет оптимизировать затраты на химические реагенты и управление водными потоками. Применительно к горнотехническому этапу рекультивации карьеров алгоритмы нейросетей рассчитывают оптимальные маршруты движения техники, графики завоза грунта и материалов, минимизируя расход топлива и время. Наконец, нейросети помогают инвесторам и государству сравнивать проекты долгосрочного развития разных вариантов пост-майнингового использования территории (сельское хозяйство, солнечная энергетика, рекреация).

5. Использование распределенных реестров блокчейн для обеспечения прозрачности и управления финансированием мероприятий по ревитализации подразумевает автоматическое отслеживание этапов работ и «умных» выплат по контрактам с подрядчиками только после подтверждения достижения контрольных показателей, верифицированных данными Интернета вещей и дистанционного зондирования земли. Также блокчейн широко применяется китайскими компаниями для создания «цифрового паспорта» возрождаемых горнодобывающих предприятий, включающего всю историю нарушений, мониторинга, рекультивационных работ, что повышает доверие к нему местного населения, инвесторов и властей.

В свою очередь вызовы, стоящие перед развитием пост-майнинга в Китае, включают в себя прежде всего «цифровой разрыв» между регионами. В наибольшей степени передовые технологии ревитализации доступны в пилотных

проектах в развитых восточных провинциях (Цзянсу, Чжэцзян), но их внедрение в бедных и отдаленных западных регионах (где экологические проблемы добывающих кластеров наиболее острые) происходит со значительным отставанием. Это обусловлено тем, что развертывание комплексных систем пост-майнинга на основе Индустрии 4.0 требует значительных инвестиций и дефицитных кадров, что усиливается рисками кибербезопасности.

Далее, зачастую в погоне за быстрым выполнением плановых показателей (KPI), местные власти иногда поощряют рекультивационные работы, направленные лишь на сиюминутное улучшение внешнего вида (например, озеленение склонов без решения проблемы фильтрации токсичных дренажных вод), что приводит к повторной деградации экосистемы и препятствует восстановлению хозяйственно-экономической деятельности. Также управление крупными фондами и процесс приемки рекультивационных работ создают возможности для злоупотреблений, и такие работы часто планируются и реализуются «сверху вниз». Местные сообщества, наиболее пострадавшие от добычи, могут быть недостаточно вовлечены в принятие решений о будущем их территорий. Восстановленные и коммерчески привлекательные земли иногда передаются сторонним инвесторам, а не становятся достоянием местных жителей.

Опыт развития пост-майнинга в Китае при всей его специфике содержит универсальные принципы, актуальные для России.

Во-первых, внедрение полноценной залоговой или депозитной системы, при которой средства на выполнение всех необходимых мер по ревитализации горнодобывающей территории резервируются до начала работ и возвращаются только по факту выполнения. Существующие в России механизмы финансирования рекультивации малоэффективны, потому что действуют постфактум.

Во-вторых, интеграция в стратегии пространственного и экономического развития регионов и федеральных целевых программ. Это позволит прежде всего стимулировать пост-майнинг полного цикла через государственно-частное партнерства. Необходимо разработать четкие и прозрачные правовые механизмы, позволяющие инвестору, финансирующему рекультивацию, получить долгосрочные права на часть территории для коммерческого или рекреационного использования. Это требует межведомственной координации (Минприроды, Минэкономразвития, Росимущество).

В-третьих, следует использовать позитивный опыт создания единой цифровой платформы учета – аналога китайской национальной базы данных нарушенных земель с привязкой к ЕГРН,

где для каждого объекта фиксировались бы исходное состояние, план рекультивации, финансовая история и результаты мониторинга.

Таким образом, китайский опыт управления пост-майнингом – это история трансформации экологической катастрофы в масштабную национальную программу модернизации. Его ядро составляет система жестких экономических стимулов и административных мер, встроенная в идеологический императив «экологической цивилизации». Главный вывод из анализа китайского опыта для российской экономики заключается в том, что успех пост-майнинга возможен только при переходе от реагирования на последствия к управлению полным жизненным циклом горнопромышленной территории, то есть от лицензирования недропользования до редевелопмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев А. А., Сюэцзю Хэ, Шанцзю Мэн, Дачжао Сонг, Чжэньлэй Ли, Цинь Ифэн, Ван Тао, Гао Ся. Исследование проблемы горных ударов на угольных шахтах КНР // Уголь. 2026. № 1. С.115–120.
2. Бубакар Б. Китай: экономический бум и экологическая угроза // Вестник РУДН. Серия: Экономика. 2009. № 2. С. 24–32.
3. USGS. Minerals Yearbook. China 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/myb/vol3/2022/myb3-2022-china.pdf> (последнее обращение: 14.01.2026).
4. USGS. Global Maps of Critical Mineral Production in 2023. Fact Sheet. <https://pubs.usgs.gov/publication/fs20253038/full> (последнее обращение: 14.01.2026).
5. Global Mineral Resources Report 2023. URL: <https://www.sme-group.com/blog/global-mineral-resources-report-2023> (последнее обращение: 14.01.2026).
6. Bradsher K. In China, Illegal Rare Earth Mines Face Crackdown // New York Times. 29.12.2010. URL: <https://www.nytimes.com/2010/12/30/business/global/30smuggle.html> (последнее обращение: 14.01.2026).
7. Guo J., He T., Xiao W., Lei K. Time series procession for monitoring land disturbance caused by surface coal mining in China // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 448. Pp. 141585.
8. Изотов Д. А. Специфика кластерных структур в китайской экономике // Регионалистика. 2015. № 3. С. 18–38.
9. Kirsanov A. K. Chinese mining industry: state of the art review // Mining Science and Technology (Russia). 2023. Vol. 8(2). Pp. 115–127.
10. Кондратьев В. Б. Китай в глобальной горной промышленности // Горная промышленность. 2023. № (3). С. 78–87.
11. Калашников Д. Б. Территориальное планирование промышленного развития Китая // Мировое и национальное хозяйство. 2021. № 1(54). С. 1–25.

12. Liu X., Li L., Yang Y. Development status of coal mining in China // Research Square. 2021. Vol. 10. Pp. 1–8.
13. Global Energy Monitor. China's Coal Conundrum 2024. URL: <https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2024/08/GEM-China-Coal-Mines-Sept-2024.pdf> (последнее обращение: 14.01.2026).
14. Qingyi W. Coal Industry in China: Evolvement and Prospects // China Energy Landscape. 2012. Vol. 11. Pp. 1–18.
15. Научно-практический портал «Экология производства. Линьфэнь – самый грязный город мира. 26.06.2006. URL: <https://www.ecoindustry.ru/NEWS/view/9381.html> (последнее обращение: 14.01.2026).
16. Chai L., Li H., Yang Z. Heavy metals and metalloids in the surface sediments of the Xiangjiang River, Hunan, China: distribution, contamination, and ecological risk assessment // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. Pp. 874–885.
17. Ягья Т. С. Особенности и итоги развития двенадцатой пятилетки (2011-2015 гг.) в КНР // Россия в глобальном мире. 2017. № 10(33). С. 471–482.
18. Семенова О. С. Экономика Западного Китая в годы 11-й пятилетки. Основные задачи на 12-ю пятилетку // Актуальные вопросы экономических наук. 2011. № 21–1. С. 63–68.
19. Анисимов А. П., Волков И. К. Концепция экологической цивилизации Китая: представляет ли она интерес для российского права? // НОМОТНЕТИКА: Философия. Социология. Право. 2023. № 3. С. 540–549.
20. Зеленый рай на бывших угольных отвалах в Ханьдане. URL: <https://russian.ts.cn/system/2019/11/15/035964623.shtml> (последнее обращение: 14.01.2026).
21. Quarry Garden in Shanghai Botanical Garden. URL: https://www.gardener.ru/library/architectural_panorama/page4134.php (последнее обращение: 14.01.2026).
22. Tiganj J., Li Y., Kretschmann J. Post-Mining goes international: Hurdles to climate neutrality using the example of China // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1189. Art. 012017.
23. Kretschmann J. Post-Mining – a Holistic Approach // Mining, Metallurgy & Exploration. 2020. Vol. 37. Pp. 1401–1409.
24. Qingdao Decent Group. China First Mining Specialized Satellite Kuangda Nanhu to be Launched Next Month. 26.06.2023. URL: <https://www.decent-group.com/china-first-mining-specialized-satellite-kuangda-nanhu-to-be-launched-next-month/> (последнее обращение: 14.01.2026).
25. Wang, G., Ren, H., Zhao, G. [et al.] Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China // International Journal of Coal Science & Technology. 2022. Vol. 9. Art. 24.
26. Харченко К. В., Зубец А. Ж., Москвитина Е. И., Бабаян Л. М., Лаффах А. М. Анализ эффективности внедрения предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0 // Горная промышленность. 2024. № 4. С. 130–138.

© 2026 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, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru

Жиронкина Ольга Валерьевна, кандидат пед. наук, доцент, Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: o-zhironkina@mail.ru

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

Заявленный вклад авторов:

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

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

Коновалова Мария Евгеньевна – обзор существующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

POST-MINING IN MINING REGIONS: CHINA'S STRATEGIC EXPERIENCE

Zhironkin Sergey Aleksandrovich¹, Zhironkina Olga Valerievna²,
Konovalova Maria Evgenievna³

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Kemerovo State University

³ Samara State Economic University

* for correspondence: zhironkinsa@kuzstu.ru



Article info

Received:

18 January 2026

Accepted for publication:

31 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

29 June 2026

Keywords: post-mining, mining territories, China, Industry 4.0, reclamation, revitalization

Abstract.

This article provides a systematic analysis of post-mining technologies and practices in the People's Republic of China, a country facing the largest mining impacts in the world. The article aims to systematize and analyze China's experience in using Industry 4.0 technologies to develop post-mining, accumulate the necessary financial resources, and establish public-private partnerships for post-mining. The study's hypothesis is that integrating post-mining into the state strategic planning system and implementing it within the Industry 4.0 platform will bring us closer to fully restoring the natural ecosystem and economic activity in areas disturbed by mining. The study covers the evolution of the regulatory framework, institutional mechanisms, key technological solutions, and financial models that have emerged over the past two decades. Particular attention is paid to integrating the restoration of disturbed lands into the concept of "building an ecological civilization." A comparative analysis identifies the successes, challenges, and limitations of the Chinese post-mining model, and formulates recommendations for other resource-dependent economies, including Russia. It is demonstrated that the Chinese experience demonstrates the possibility of moving from responding to environmental disasters in mining clusters to preventive, systemic, and economically motivated lifecycle management.

For citation: Zhironkin S.A., Zhironkina O.V., Konovalova M.E. Post-mining in mining regions: China's strategic experience. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 2(174):165-175. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-165-175, EDN: ITAWOH

REFERENCES

1. Sobolev A.A., Sjujecju Hje, Shanczju Mjen, Dachzhao Song, Chzhjen'ljej Li, Cin' Ifjen, Van Tao, Gao Sja Issledovanie problemy gornyh udarov na ugol'nyh shahtah KNR [Study of the problem of rock bursts in coal mines of the PRC]. *Ugol'*. 2026; 1:115–120.
2. Bubakar B. Kitaj: jekonomicheskij bum i jekologicheskaja ugroza [China: Economic Boom and Environmental Threat] *Vestnik RUDN. Serija: Jekonomika = Bulletin of RUDN University. Series: Economy*. 2009; 2:24–32.
3. USGS. Minerals Yearbook. China 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/myb/vol3/2022/myb3-2022-china.pdf> (last access: 14.01.2026).
4. USGS. Global Maps of Critical Mineral Production in 2023. Fact Sheet. <https://pubs.usgs.gov/publication/fs20253038/full> (last access: 14.01.2026).
5. Global Mineral Resources Report 2023. URL: <https://www.sme-group.com/blog/global-mineral-resources-report-2023> (last access: 14.01.2026).
6. Bradsher K. In China, Illegal Rare Earth Mines Face Crackdown // *New York Times*. 29.12.2010. URL: <https://www.nytimes.com/2010/12/30/business/global/30s-muggle.html> (last access: 14.01.2026).
7. Guo J., He T., Xiao W., Lei K. Time series procession for monitoring land disturbance caused by surface coal mining in China. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 448:141585.
8. Izotov D.A. Specifika klasternyh struktur v kitajskoj jekonomike [Specifics of cluster structures in the Chinese economy]. *Regionalistics*. 2015; 3:18–38.
9. Kirsanov A.K. Chinese mining industry: state of the art review. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023; 8(2):115–127.
10. Kondrat'ev V.B. Kitaj v global'noj gornoj promyshlennosti [China in the global mining industry]. *Gornaja promyshlennost' = Mining Industry*. 2023; 3:78–87.

11. Kalashnikov D.B. Territorial'noe planirovanie promyshlennogo razvitiya Kitaja [Spatial planning of industrial development of China]. *Mirovye i nacional'noe hozjajstvo = World and national economy*. 2021; 1(54):1–25.

12. Liu X., Li L., Yang Y. Development status of coal mining in China. *Research Square*. 2021; 10:1–8

13. Global Energy Monitor. China's Coal Conundrum 2024. URL: <https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2024/08/GEM-China-Coal-Mines-Sept-2024.pdf> (last access: 14.01.2026).

14. Qingyi W. Coal Industry in China: Evolvement and Prospects. *China Energy Landscape*. 2012; 11:1–18.

Scientific and practical portal "Ecology of production". Linfen is the dirtiest city in the world. 06/26/2006. URL: <https://www.ecoindustry.ru/NEWS/view/9381.html> (last access: 14.01.2026).

16. Chai L., Li H., Yang Z. Heavy metals and metalloids in the surface sediments of the Xiangjiang River, Hunan, China: distribution, contamination, and ecological risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24:874–885.

17. Jag'ja T.S. Osobennosti i itogi razvitiya dvenadcatoj pjatiletki (2011–2015 gg.) v KNR [Features and results of the development of the twelfth five-year plan (2011–2015) in the PRC]. *Rossija v global'nom mire = Russia in the global world*. 2017; 10(33):471–482.

18. Semenova O.S. Jekonomika Zapadnogo Kitaja v gody 11-j pjatiletki. Osnov-nye zadachi na 12-ju pjatiletku [Economy of Western China during the 11th Five-Year Plan. Main Tasks for the 12th Five-Year Plan]. *Aktual'nye voprosy jekonomicheskikh nauk = Current Issues in Economic Sciences*. 2011; 21–1:63–68.

19. Anisimov A.P., Volkov I.K. Konceptija jekologicheskoy civilizacii Kitaja: predstavljajet li ona

interes dlja rossijskogo prava? [The Concept of China's Ecological Civilization: Is It of Interest for Russian Law?]. *NOMOTHETIKA: Philosophy. Sociology. Law*. 2023; 3:540–549.

20. Green Paradise on the Former Coal Dumps in Handan. URL: <https://russian.ts.cn/system/2019/11/15/035964623.shtml> (last accessed: 14.01.2026).

21. Quarry Garden in Shanghai Botanical Garden. URL: https://www.gardener.ru/library/architectural_panorama/page4134.php (last access: 14.01.2026).

22. Tiganj J., Li Y., Kretschmann J. Post-Mining goes international: Hurdles to climate neutrality using the example of China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1189:012017.

23. Kretschmann, J. Post-Mining – a Holistic Approach. *Mining, Metallurgy & Explo-ration*. 2020; 37:1401–1409.

24. Qingdao Decent Group. China First Mining Specialized Satellite Kuangda Nanhu to be Launched Next Month. 26.06.2023. URL: <https://www.decent-group.com/china-first-mining-specialized-satellite-kuangda-nanhu-to-be-launched-next-month/> (last access: 14.01.2026).

25. Wang, G., Ren, H., Zhao, G. [et al.] Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022; 9. Art. 24.

26. Harchenko K.V., Zubec A.Zh., Moskvitina E.I., Babajan L.M., Laffah A.M. Analiz jeffektivnosti vnedrenija prediktivnogo obsluzhivaniya gornodobyvajushhego oborudovanija na osnove tehnologij Industrii 4.0 [Analysis of the efficiency of the implementation of predictive maintenance of mining equipment based on Industry 4.0 technologies]. *Gornaja promyshlennost' = Mining Industry*. 2024; 4:130–138.

© 2026 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:

Sergey A. Zhironkin, Doctor of Economics, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28, e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru

Olga V. Zhironkina, candidate of Pedagogy, Associate Professor, Kemerovo State University, 650000, Russia, Kemerovo, st. Krasnaya, 6, e-mail: o-zhironkina@mail.ru

Maria E. Konovalova, Doctor of Economics. Sciences, Professor, Samara State Economic University, 443090, Russia, Samara, Krasnoy Armii st., 141, e-mail: ecun@sseu.ru

Contribution of the authors:

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

Olga V. Zhironkina – data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements.

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

All authors have read and approved the final manuscript.

