

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №6, Том 14 / 2022, No 6, Vol 14 <https://esj.today/issue-6-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/67ECVN622.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Березиков, С. А. Проблемы и перспективы развития комплексного использования минерального сырья в контексте обеспечения устойчивого развития / С. А. Березиков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/67ECVN622.pdf>

**For citation:**

Berezikov S.A. Problems and prospects for the development of comprehensive use of mineral raw materials in the context of ensuring sustainable development. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(6): 67ECVN622. Available at: <https://esj.today/PDF/67ECVN622.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Березиков Сергей Александрович**

ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия  
Институт экономических проблем имени Г.П. Лузина — обособленное подразделение

Старший научный сотрудник

Кандидат экономических наук

E-mail: [s.berezikov@ksc.ru](mailto:s.berezikov@ksc.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-0863>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=152929](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=152929)

WOS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/B-6560-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57210910133>

## Проблемы и перспективы развития комплексного использования минерального сырья в контексте обеспечения устойчивого развития

**Аннотация.** Актуальность исследования современных проблем управления горнопромышленным комплексом России определяется тем, что ведущие российские корпорации горнодобывающей отрасли промышленности, следуя своей миссии на удовлетворение растущих запросов экономики в ресурсах, постоянно сталкиваются с возрастающими вызовами и угрозами. Комплексное рациональное освоение и использование минеральных ресурсов является одной из важнейших проблем, стоящих перед Российской Федерацией в области недропользования. Ее решение затрагивает практически все сферы государственной деятельности: экономическую, экологическую, социальную. В то же время проблема комплексного использования минеральных ресурсов как неотъемлемой ее части становится особенно актуальной. Необходимо найти ответ на вопросы: какие бизнес-модели могли бы обеспечить большую экономическую отдачу от добычи и переработки, отражая при этом истинные затраты на ранних стадиях производства? С наступлением пика добычи полезных ископаемых и последствиями, которые могут повлечь за собой эти изменения, горнодобывающая промышленность должна сосредоточить свои усилия по технологическому прогрессу на тех процессах, которые обходят традиционные стадии жизненного цикла и продвигают альтернативные технологии, сводя к минимуму социальные и экологические последствия любой продолжающейся горнодобывающей деятельности. Автором с использованием метода декомпозиции определены основные направления комплексного использования минерального сырья и выделены существующие проблемы. С помощью системно-ориентированного анализа выработаны рекомендации, направленные на повышение степени комплексности использования минерального сырья. Определено, что применительно к отрасли добычи полезных ископаемых реализация концепции устойчивого развития означает интеграцию деятельности в следующих трех ключевых областях: технико-экономической

деятельности, экологической и социальной. В статье показано, что комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов способствует развитию экономики замкнутого цикла, поскольку не только снижает спрос на полезные ископаемые и металлы, извлекаемые из геологических запасов, но и значительно сокращает количество энергии, необходимой для добычи полезных ископаемых. В работе подробно исследована получившая распространение в последнее время концепция «пиковых полезных ископаемых» и определены ее преимущества.

**Ключевые слова:** комплексное использование; минерально-сырьевые ресурсы; горнопромышленный комплекс; устойчивое развитие

### Введение

Развитие экономики, начиная от перехода к машинному производству, всегда сопровождалось увеличением потребностей в ресурсах для производства, в том числе в продукции горнопромышленного комплекса. В 2015 г. на саммите ООН были определены 17 целей устойчивого развития, которые должны быть достигнуты к 2030 г. Глобально, все цели можно поделить на две группы: удовлетворение потребностей живущих людей и будущих поколений; забота о природной экосистеме и ресурсах.

Постоянный рост населения земли, которое, как ожидается, достигнет 8,5 миллиарда человек к 2030 году [1], и постоянно растущее потребление минеральных ресурсов на душу населения делают необходимым увеличение добычи полезных ископаемых ускоренными темпами. Эти процессы, несомненно, окажут влияние на Россию, в которой минерально-сырьевой комплекс является основой экономики страны и обеспечивает растущие социальные потребности населения.

Актуальность исследования современных проблем управления горнопромышленным комплексом России определяется тем, что ведущие российские корпорации горнодобывающей отрасли промышленности, следуя своей миссии на удовлетворение растущих запросов экономики в ресурсах, постоянно сталкиваются с возрастающими вызовами и угрозами. К основному вызову, влияющему на эффективность деятельности мирового горнопромышленного комплекса, можно отнести экспоненциальный рост потребностей в минеральных удобрениях, что связано с климатическими изменениями и сокращением пахотных земель, при одновременном наращивании объемов производства продуктов питания для обеспечения жизнедеятельности человечества. Также горнопромышленным компаниям необходимо решать проблему истощения запасов богатых месторождений, и, соответственно, интенсифицировать геологоразведочные работы и осваивать более «бедные» и труднодоступные залежи. В связи с вышеуказанными аспектами важно развивать новые технологии, включая цифровые и роботизированные системы для добычи и обогащения полезных ископаемых в меняющихся горно-геологических условиях. Значимые вызовы связаны и с достижением целей устойчивого развития, в совокупности решением социально-экологических проблем, и повышением ответственности бизнеса.

Минерально-сырьевые экономики определяются как экономики, которые генерируют не менее 10 % своего ВВП за счет добычи полезных ископаемых и не менее 40 % своих валютных поступлений от экспорта полезных ископаемых [2]. Россия является одним из примеров такой экономики. Так, по данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации доля доходов от поставок минерального сырья и продуктов его переработки в зарубежные страны в 2019 г. в стоимостном выражении составила 77 % российского экспорта. Основная часть приходится на поставки энергоносителей (62 % в 2019 г.), заметную роль также

играет экспорт продукции металлургических предприятий (9 %), минеральных удобрений (2 %), доля руд и концентратов в общей стоимости экспорта в 2019 г. выросла до 1 %<sup>1</sup>.

Рациональное освоение минерально-сырьевых ресурсов — одна из важнейших проблем, стоящих перед Российской Федерацией в области недропользования. Ее решение затрагивает практически все сферы деятельности государства: экономическую, экологическую, социальную. Особую актуальность в свете концепции устойчивого развития приобретает проблема комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов как ее составная часть.

Следует отметить, что в своей работе мы разделяем понятия «комплексное освоение» и «комплексное использование». Понятие «комплексное освоение» означает, что участок недр, содержащий несколько геологических ресурсов, должен разрабатываться с учетом их совокупности, либо одновременно, либо последовательно, либо одного из них, но с обязательным сохранением для использования других, соседних геологических ресурсов. В свою очередь, мы относим термин «комплексное использование» только к минеральным ресурсам, которые были разработаны, переработаны и проданы.

### Методы

Ключевые методы исследования включают в себя тематические исследования с помощью методологии case studies с целью наблюдения за текущими условиями комплексного использования минерального сырья в России, метод декомпозиции для определения основных направлений комплексного использования минерального сырья и выделения существующих проблем, системно-ориентированный анализ для выработки рекомендаций, направленных на повышение степени комплексности использования минерального сырья. Также был использован контент-анализ академической литературы по данной теме.

### Результаты и обсуждение

Анализируя значение термина «устойчивое развитие», следует отметить, что он приобретает особое значение в том случае, когда речь идет о добыче полезных ископаемых. Неотъемлемой особенностью этой отрасли хозяйственной деятельности является тот факт, что она имеет дело с невозобновляемыми ресурсами.

Применительно к отрасли добычи полезных ископаемых реализация концепции устойчивого развития означает интеграцию деятельности в следующих трех ключевых областях, а именно:

- технико-экономическая деятельность, обеспечивающая экономический рост;
- экологическая, обеспечивающая защиту окружающей среды;
- социальная, означающая заботу о персонале и развитие сообщества в области горнодобывающей промышленности [3].

Следует подчеркнуть, что устойчивое развитие в любом случае является непрерывным, а не дискретным процессом. В нем четко определены цели и средства их достижения во всех вышеупомянутых ключевых областях [4]. Предполагается, что эти области имеют одинаковое

---

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году» URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_i\\_iskpolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resurso\\_v\\_rossiyskoy\\_federatsii/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostyanii\\_i\\_iskpolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resurov\\_rossiyskoy\\_federatsii/](https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_iskpolzovanii_mineralno_syrevykh_resurso_v_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostyanii_i_iskpolzovanii_mineralno_syrevykh_resurov_rossiyskoy_federatsii/).

значение. Следовательно, акцент на одной области обычно приводит к кризису во всей сфере горнодобывающей деятельности (рис.).



**Рисунок.** Ключевые области устойчивого развития добычи полезных ископаемых

Экономический рост означает достижение долгосрочной устойчивости как в отношении запланированных объемов производства, так и в удовлетворении потребностей клиентов, а также достижение экономической эффективности, полученной от продажи добытого полезного ископаемого.

Защита окружающей среды принятие мер, которые минимизируют негативное воздействие различных процессов, связанных с добычей полезных ископаемых на различных формах геологической среды и природной среды на поверхности Земли.

Социальная ответственность, принимая во внимание природу горнодобывающей деятельности, означает, прежде всего, обеспечение безопасных условий труда, но также касается социальных аспектов добычи полезных ископаемых.

Необходимость удовлетворения растущего спроса на большинство добываемых минеральных ресурсов (что приводит к росту цен на сырьевые товары), означает, что, хотя условия добычи могут характеризоваться все более возрастающей сложностью, темпы добычи, тем не менее, могут ускоряться для многих минеральных ресурсов [5]. В целях поддержания или увеличения темпов производства эксплуатация стала более интенсивной с целым рядом экологических и социальных последствий. Экологические ограничения включают увеличение отходов шахт, размер шахт и энергоёмкость, а также снижение уровня грунтовых вод и загрязнение воды [6; 7].

Социальные ограничения включают конфликты в области землепользования, совокупное воздействие горнодобывающей деятельности и последствия закрытия шахт для горнодобывающих сообществ и регионов [8–11].

Как указывает в своей работе Дж. Тилтон [12]: «экологические и другие социальные издержки, связанные с добычей, переработкой и использованием минеральных ресурсов, могут серьезно ограничить их доступность». Кроме того, для горнодобывающих компаний сложность и затянутость административных процедур увеличивает риск потерь на рынке: рынок полезных ископаемых достаточно динамичный, а деятельность по освоению каждого конкретного месторождения сама по себе является рискованной. Увеличение риска из-за неопределенности и затянутости определения природоохранных требований порождает интерес у горного бизнеса к лоббированию снижения таких требований [13]. Указанные ограничения уже стали

реальностью в добыче полезных ископаемых в Австралии в настоящее время, и подтверждаются рядом отчетов компаний и правительственных данных [14].

Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов способствует развитию экономики замкнутого цикла, поскольку не только снижает спрос на полезные ископаемые и металлы, извлекаемые из геологических запасов, но и значительно сокращает количество энергии, необходимой для производства полезных ископаемых и металлов. Например, энергия, сэкономленная за счет переработки алюминия, меди и стали, может составлять соответственно 95, 85 и 62–74 % [15].

Эффективность добычи — это одна из концепций устойчивого развития, ориентированных на жизненный цикл, имеющая ряд преимуществ: более полное извлечение залежей полезных ископаемых во время добычи приводит к тому, что предприятие имеет больше ресурсов для продажи, а также меньше отходов для утилизации. Это может включать совместную добычу нескольких полезных ископаемых, которые могли бы обеспечить дополнительный источник дохода. Более того, повторная переработка отходов также выгодна для отраслей первичного производства, поскольку переработка и производство из переработанных товаров, как правило, дешевле и менее энергоемки, чем производство из первичных [16; 17]. К примеру, результаты оценки экономической эффективности месторождения Африканда (Россия, Мурманская область) показали, что комплексное использование руд месторождения Африканда (производство перовскитового концентрата и производство концентрата  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$  и РЗЭ), которое является более капиталоемким проектом, может обеспечить гораздо более высокий экономический эффект в долгосрочной перспективе [18].

Получившая распространение в последнее время концепция «пиковых полезных ископаемых» [19] предполагает, что по мере освоения ресурса производство может быть охарактеризовано как дешевое и легкое на раннем этапе, становясь все более дорогим и сложным.

Добыча дешева, потому что ресурсов много, а качество руды в среднем относительно высокое — добывать ресурс и получать прибыль от его продажи, следовательно, относительно легко. Однако по мере продолжения добычи высокосортные, легкодоступные и простые в переработке руды истощаются или перерабатываются в более крупные шахты с более низким средним содержанием в результате технологических улучшений в добыче и переработке [20]. Как следствие, добыча направлена на руды более низкого качества, более глубокие или более сложные — те, которые значительно сложнее и дороже (экономически, экологически и социально) добывать [21].

В рамках концепции «пиковых полезных ископаемых» доступ к ресурсам и их использование подразделяется на «дешевые и простые» на одном конце временного/производственного континуума и «дорогостоящие и сложные» на другом. Экономические, социальные и экологические издержки изменяются в этом континууме, и понимание того, как эти изменения влияют на горнодобывающую промышленность, будет становиться все более важным.

Тенденции, отмеченные выше и рассмотренные в контексте устойчивого развития горнодобывающей промышленности, предполагают, что концепция пиковых полезных ископаемых имеет значительные преимущества как в национальном контексте, так и в глобальном масштабе. Используя концепцию «пиковых полезных ископаемых», в работе [21] была установлена система из трех критериев для оценки влияния, которое изменение структуры добычи полезных ископаемых окажет на предоставление услуг, основанных на полезных ископаемых.

Эти критерии включают в себя: доступность ресурса, зависимость общества (материальную и финансовую) от ресурса и вероятность того, что могут быть найдены альтернативы для замены услуги, предоставляемой ресурсом.

В конечном счете, не только истощение ресурсов вызывает озабоченность в отношении устойчивости, но и изменение затрат и последствий от переработки «более простых и дешевых» руд до пика добычи данного минерала до «более сложных и дорогостоящих» руд после пика.

Взаимосвязь между экономической ценностью и воздействием на окружающую среду этапов в цепочке добыча — производство отражена в [22]. Это взаимосвязь показывает, что начальные этапы цепочки добычи полезных ископаемых характеризуются низкой себестоимостью, но высокими экологическими затратами — добыча ресурсов. Напротив, более поздние стадии процесса, такие как обработка и переработка, оказывают меньшее воздействие на окружающую среду и создают большую часть экономической стоимости. Являясь крупным первичным производителем полезных ископаемых, Россия оказывает значительное воздействие на окружающую среду по сравнению с финансовой отдачей от добытой продукции. По мере увеличения воздействия добычи ресурсов на окружающую среду из-за снижения качества руды и увеличения отходов эта относительная финансовая отдача, вероятно, снизится.

### Заключение

Необходим поиск ответа на вопросы: какие бизнес-модели могли бы обеспечить большую экономическую отдачу от добычи и переработки, отражая при этом истинные затраты на ранних стадиях производства? С наступлением пика добычи полезных ископаемых и последствиями, которые могут повлечь за собой эти изменения, горнодобывающая промышленность должна сосредоточить усилия по технологическому прогрессу на тех процессах, которые обходят традиционные этапы жизненного цикла, и продвигать альтернативные технологии, в то же время сводя к минимуму социальные и экологические последствия любой продолжающейся горнодобывающей деятельности.

Устранение этих последствий внесет значительный вклад в способность отрасли оставаться экономически жизнеспособной в будущем, когда ограничения на устойчивость будут становиться все более значительными. Уже сегодня стремление сократить углеродный след от производства металлов побуждает производителей алюминия размещаться в таких местах, как Исландия (с геотермальной энергией) и Мозамбик (с гидроэнергетикой), смещая глобальное влияние крупных производителей сырьевых товаров, таких как Австралия.

Понимание истинных затрат на добычу полезных ископаемых и переоценка минеральных ресурсов в конечном счете влияют на способность поставлять полезные ископаемые на рынок. По мере того, как экономические, экологические и социальные издержки производства традиционных полезных ископаемых и металлов возрастут с увеличением добычи полезных ископаемых, запасы, находящиеся в эксплуатации, станут более ценными. Переоценка этих ресурсов, связанных с продукцией, также будет способствовать необходимости развития услуг конечного использования, которые обеспечивают долгосрочный доступ к полезным ископаемым и национальному богатству, не полагаясь исключительно на традиционную добычу ресурсов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. UNFPA Revision of Population Prospects (United Nations, 2015). URL: <https://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html>.
2. Auty, R., & Warhurst, A. (1993). Sustainable development in mineral exporting economies. *Resources Policy*, 19(1), 14–29. [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(93\)90049-S](https://doi.org/10.1016/0301-4207(93)90049-S).
3. Józef Dubiński / *J. Sust. Min.* Vol. 12 (2013), No. 1, p. 1–6.
4. Dubiński J., Turek M., Wachowicz J. (2007): Hard coal mining and the idea of sustainable development. *Proc. Intern. Scientific Conference — School Underground Exploitation, Dniepropietrowsk*, pp. 27–38.
5. Mudd, G.M., 2010a. The environmental sustainability of mining in Australia: key mega-trends and looming constraints. *Resources Policy* 35, 98–115.
6. Bridge, G., 2004. Contested terrain: mining and the environment. *Annual Review of Environment and Resources* 29, 205–259.
7. Mudd, G.M., Ward, J.D., 2008. Will sustainability constraints cause “Peak Minerals”? In: 3rd International Conference on Sustainability Engineering and Science: Blueprints for Sustainable Infrastructure, Auckland, New Zealand.
8. Franks, D., Brereton, D., Moran, C.J., 2010. Managing the cumulative impacts of coal mining on regional communities and environments in Australia. *Impact Assessment and Project Appraisal* 28, 299–312.
9. Petkova, V., Lockie, S., Rolfe, J., Ivanova, G., 2009. Mining developments and social impacts on communities: Bowen basin case studies. *Rural Society* 19, 211–228.
10. Solomon, F., Katz, E., Lovel, R., 2008. Social dimensions of mining: research, policy and practice challenges for the minerals industry in Australia. *Resources Policy* 33, 142–149, doi: 10.1016/j.resourpol.2008.01.005.
11. Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., Mulligan, D., 2009. Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production* 17, 1426–1434
12. Tilton, J., 2003. *On Borrowed Time? Assessing the Threat of Mineral Depletion*. Resources for the Future, Washington DC, USA.
13. В.А. Маслобоев, С.Н. Виноградова, В.В. Дидык, Е.М. Ключникова, Е.А. Корчак, Т.А. Мингалёва, В.Н. Петров, Л.А. Рябова. Горная промышленность в Арктике в контексте обеспечения устойчивого развития местных сообществ // Вестник Кольского научного центра РАН 4/2015(23). С. 82–89.
14. Mudd, G.M., 2009. The Sustainability of Mining in Australia: Key Production Trends and their Environmental Implications for the Future, Research Report No RR5.
15. ASM Metal Recycling. (2017). How does metal recycling benefit the economy and the environment? <http://www.asm-recycling.co.uk/blog/how-does-metal-recycling-benefit-the-economy-and-the-environment/>. Accessed 04.12.2021.
16. Reuter, M., 2013. Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure. United Nations Environmental Programme (UNEP) Retrieved from. <http://www.resourcepanel.org/reports/metal-recycling>.

17. Parameswaran K. and Ramos M. (2017). Mining and Sustainable Development: Oxymoron or RX for a Bright Future? An Update. In Kongoli F., Palacios M., Buenger T., Meza J.H., Delgado E., Joudrie M.C., Gonzales T., Tread N. (Eds.), Sustainable Industrial Processing Summit SIPS 2017 Volume 1. Barrios Intl. Symp. / Non-ferrous Smelting & Hydro / Electrochemical Processing (pp. 133–160). Montreal, Canada: FLOGEN Star Outreach.
18. Vladimir Masloboev et al 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 627 012012.
19. T. Prior et al. / Global Environmental Change 22 (2012) 577–587.
20. West, J., 2011. Decreasing metal ore grades. Journal of Industrial Ecology 15, 165–168, doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00334.x.
21. Mason, L., Prior, T., Mudd, G., Giurco, D., 2011. Availability, addiction and alternatives: three criteria for assessing the impact of peak minerals on society. Journal of Cleaner Production 19, 958–966.
22. Clift, R., Wright, L., 2000. Relationships between environmental impacts and added value along the supply chain. Technological Forecasting and Social Change 65, 281–295.



**Berezikov Sergey Alexandrovich**

Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia  
Luzin Institute for Economic Studies — Subdivision  
E-mail: s.berezikov@ksc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-0863>

RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=152929](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=152929)

WOS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/B-6560-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57210910133>

## **Problems and prospects for the development of comprehensive use of mineral raw materials in the context of ensuring sustainable development**

**Abstract.** The relevance of the study of modern problems of management of the mining complex of Russia is determined by the fact that the leading Russian mining corporations, following their mission to meet the growing demands of the economy in resources, constantly face increasing challenges and threats. Integrated rational development and use of mineral resources is one of the most important problems facing the Russian Federation in the field of subsoil use. Its solution affects almost all spheres of state activity: economic, environmental, social. At the same time, the problem of integrated use of mineral resources as an integral part of it is becoming particularly relevant. It is necessary to find an answer to the questions: which business models could provide greater economic returns from mining and processing, while reflecting the true costs at the early stages of production? With the onset of the peak of mining and the consequences that these changes may entail, the mining industry should focus its technological progress efforts on those processes that bypass the traditional stages of the life cycle and promote alternative technologies, minimizing the social and environmental consequences of any ongoing mining activity. The author, using the decomposition method, defines the main directions of the integrated use of mineral raw materials and highlights the existing problems. With the help of system-oriented analysis, recommendations have been developed aimed at increasing the degree of complexity of the use of mineral raw materials. It is determined that in relation to the mining industry, the implementation of the concept of sustainable development means the integration of activities in the following three key areas: technical and economic activities, environmental and social. The article shows that the integrated use of mineral resources contributes to the development of a closed-cycle economy, since it not only reduces the demand for minerals and metals extracted from geological reserves, but also significantly reduces the amount of energy needed for mining. The paper examines in detail the concept of "peak minerals" that has recently become widespread and identifies its advantages.

**Keywords:** comprehensive use; mineral raw materials; mining complex; sustainable development