



## СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ ЗЕМНЫХ НЕДР

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

ФГБУ «Российская академия наук»  
14, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для высокой эффективности освоения глубокозалегающих месторождений от горных наук требуется оптимизация параметров горных работ, техники и технологии, изучение и разработка принципов рационального сочетания различных ресурсосберегающих, малоотходных и ресурсовоспроизводящих технологических процессов, и прежде всего предусматривающих широкое применение автоматизированных систем планирования и методов управления добычей полезных ископаемых.

**Цель** — проанализировать состояние и основные направления освоения ресурсов земных недр.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на основе комплексного анализа отчетных, фондовых и литературных материалов по освоению минерально-сырьевых ресурсов.

**Результаты.** Показаны схема формирования консолидированного природно-техногенного массива в недрах Земли и технологическая схема движения минерально-сырьевых потоков. Сделан вывод, что технологии целенаправленного формирования месторождений целесообразно создавать на основе принципа геотехнологического продолжения образования полезных компонентов искусственными методами с использованием природных сил для преобразования залежей к состоянию, максимально приемлемому к последующей разработке. Такие технологии должны предусматривать создание в массиве условий для пространственного обособления полезных компонентов, изменение физических свойств пород, условий залегания полезных ископаемых и — на этой основе — повышение эффективности традиционных и новых способов освоения месторождений.

**Заключение.** Применение указанных технологий позволит расширить сырьевую базу за счет повышения концентрации полезных компонентов в недрах и вовлечения в разработку бедных месторождений и рудопроявлений; увеличить ценность месторождений за счет попутных компонентов, получаемых в процессах вещественных преобразований руд; снизить глубину горных работ за счет формирования техногенных залежей на геохимических барьерах вблизи поверхности Земли; сократить сроки разработки месторождений; снизить техногенную нагрузку на окружающую среду. Для создания таких технологий потребуется глубокая интеграция усилий геологов, геохимиков, геофизиков, экологов и горняков.

**Ключевые слова:** ресурсы недр, геотехнология, минерально-сырьевые потоки, интеграция, полезные компоненты, формирование

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Трубецкой К.Н. Состояние и основные направления освоения ресурсов земных недр. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(3):8—15.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-8-15>

Статья поступила в редакцию 18.09.2020

Принята к публикации 03.11.2020

Опубликована 09.11.2020

# THE STATE AND MAIN DIRECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF EARTH'S INTERIOR RESOURCES

KLIMENT N. TRUBETSKOY

*Russian Academy of Sciences  
14, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** In order to achieve a high efficiency in the development of deep-seated deposits, mining sciences are required to optimize the parameters of mining operations, equipment and technology, to study and develop the principles of a rational combination of various resource-saving, low-waste and resource-reproducing technological processes, above all, providing the widespread use of automated planning systems and methods for managing the extraction of minerals.

**Aim.** To analyse the state and main directions in the development of the Earth's interior resources.

**Materials and methods.** The research was carried out on the basis of a comprehensive analysis of scientific publications, reports and archive materials on the development of mineral resources.

**Results.** A scheme describing the formation of a consolidated natural-technogenic massif in the Earth's interior and a technological diagram of the movement of mineral-raw material flows are presented. A conclusion is made that it is expedient to create the technologies for the purposeful formation of deposits on the basis of the principle of geotechnological continuation of the formation of useful components by artificial methods using natural forces to transform deposits to a state that is maximally acceptable for subsequent development. Such technologies should provide the creation of conditions in the massif for the spatial separation of useful components, changes in the physical properties of rocks, the conditions of occurrence of minerals and, on this basis, increasing the efficiency of traditional and new ways of developing deposits.

**Conclusion.** The use of these technologies will allow the resource base to be expanded by increasing the concentration of useful components in the Earth's interior and involving poor deposits and ore occurrences in the development; to increase the value of deposits due to associated components obtained in the processes of material transformation of ores; to reduce the depth of mining operations due to the formation of technogenic deposits on geochemical barriers near the Earth's surface; to reduce the development time of deposits; and to reduce the technogenic load on the environment. The creation of such technologies will require a deep integration of the efforts of geologists, geochemists, geophysicists, ecologists and miners.

**Keywords:** Earth's interior resources, geotechnology, mineral and raw material flows, integration, useful components, formation

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Trubetskoy K.N. The state and main directions in the development of earth's interior resources. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2020;63(3):8—15. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-8-15>

*Manuscript received 18 September 2020*

*Accepted 03 November 2020*

*Published 09 November 2020*

Благодаря ресурсам земных недр горное дело является одной из важнейших областей деятельности человека по их освоению, так как они занимают основополагающее место не только в богатстве стран, но и в общем развитии цивилизации.

Человечество ежегодно извлекает из недр Земли многие сотни миллиардов тонн различных руд, горючих ископаемых и строительных материалов. В результате переработки этого сырья выплавляется свыше 800 млн т различных металлов, рассеивается на полях более 400 млн т минеральных удобрений и до 4 млн т различных ядохимикатов. Индустрии добычи твердых полезных ископаемых принадлежит первое место в образовании и накоплении на поверхности планеты твердых отходов, количество которых составляет не менее 65—70% от общего объема добычи. В недрах Земли образовалось огромное количество полостей и пустот в виде отработанных шахт и карьеров. В результате изменяется сбалансированное за предшествующие эпохи напряженное состояние массивов, нарушается режим подземных и поверхностных вод, деформируется и сама земная поверхность.

Нарастающий технологический прессинг на природные экосистемы приводит к их быстро и часто необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер. При этом парадоксальность ситуации заключается в том, что прогрессирующая деградация природы происходит на фоне быстро растущих расходов человечества на ее охрану; при этом энергетические ресурсы, необходимые для сохранения природы на современном уровне развития, могут быть получены только путем техногенного разрушения фундамента этой природы — литосферы Земли.

Как отмечал академик В.И. Вернадский: «жизнь является... не внешним, случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он (человек) не мог бы существовать». Иными словами, в какой бы степени недра ни были исчерпаны, общество не может существовать, когда их использование невозможно.

Поэтому получение полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем альтернативной необходимостью для самого факта существования человека. От того, как в наше время будет организовано это производство, какие ограничения и допуски будут наложены

на его развитие, в широком смысле зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты.

Сегодня практически все мировое сообщество построено и функционирует за счет результатов прямого или косвенного разрушения определенных участков литосферы и последующего использования полученного при этом вещества. По последним данным, минеральное сырье дает исходные материалы и энергетическую основу производству 70% всей номенклатуры конечной продукции человеческого общества.

Экономическая система человечества состоит из людей, средств производства и материальных благ. На протяжении последних столетий население росло темпами, далеко превышающими известные ранее истории, и это беспрецедентное увеличение стало возможным только в условиях сопровождающего его еще более быстрого расширения производства материальных благ. Население мира за последние около 60 лет увеличивалось примерно на 4,6% в год, а добыча полезных ископаемых на каждого жителя Земли — от 12,6 до 19,6% в год, с удвоением каждые 10 лет.

Следует обратить внимание на то, что термины «производство» и «потребление» не совсем точны для описания процессов извлечения на поверхность значительных объемов полезных ископаемых и пустых горных пород. Фактически человек не производит и не уничтожает вещество и энергию, а только переводит их из одного состояния в другое. Человек преобразует сырье в товары, а товары — в ту или иную форму отходов, которые возможно превратить в сырье путем расхода энергии. В связи с этим при развитии цивилизации всегда будет требоваться определенный уровень добычи из недр Земли прежде всего энергетического сырья.

Россия на протяжении второй половины XIX, всего XX, первых десятилетий XXI веков и обозримого будущего была и будет крупнейшей минерально-сырьевой державой, доля экспорта продукции которой, вне зависимости от социально-политического строя, масштабов страны, в разные периоды составляла не менее 50—75%.

Наше государство обладает конкурентными стратегическими минерально-сырьевыми преимуществами, при сохранении и усилении которых Россия в XXI в. сможет не только удовлетворить наиболее рациональным образом собственные потребности в минеральном сырье, но и занять более высокое и устойчивое геополитическое

положение. Даже в кризисных мировых условиях доходы от экспорта важнейших видов минерального сырья и продукции их переработки являются главным источником пополнения федерального бюджета, финансирования инвестиционных программ национального значения, укрепления энергетической безопасности страны.

Вместе с тем ежегодное извлечение различных горных пород из недр до 15 млрд т в бывшем СССР в период второй половины XX столетия приводило к образованию от 3,5 до 10,2 млрд т в год твердых отходов. В результате в отвалах и хвостохранилищах было накоплено уже к 2009 году только в России свыше 100 млрд т таких отходов, наносящих вред охране недр, рациональному землепользованию и окружающей среде. К этому количеству ежегодно добавляется около 4 млрд т в год. При этом доля горнодобывающей промышленности составляет 55%, топливно-энергетической и металлургической промышленности около 35%. Доминируют в образовании и накоплении отходов угольная промышленность, черная и цветная металлургия.

В целом по горной и перерабатывающей промышленности количество отходов составляет от 50 до 95% извлекаемой из недр горной массы. В то же время значительная часть отходов горно-обогатительного и металлургического производств может оцениваться в качестве сырья техногенных месторождений для получения металлов, строительных материалов, удобрений, химической продукции и др.

Особо следует подчеркнуть продолжающееся на протяжении многих последних десятилетий снижение качества полезных ископаемых на разрабатываемых и большинстве вновь вовлекаемых в эксплуатацию месторождений, значительное усложнение горно-геологических и экономико-географических условий освоения месторождений, особенно новых, при повышении требований к охране природной среды, что обуславливает устойчивую тенденцию существенного роста эксплуатационных и капитальных затрат в горной промышленности.

Таким образом, современное состояние минерально-сырьевого комплекса России, и без того ухудшающееся в связи с кризисными явлениями, в условиях резкого колебания цен на минеральные ресурсы, высокого уровня инфляции в сочетании с ростом банковских ставок (до 24—26%), сокращения до 30—40% уровня использования обрабатывающих отраслей, нехватки доступных кредитных средств даже у крупных горнодобывающих компаний, современной системы

налогообложения, близкой к полной изношенности основных средств и применения устаревших технологий привело к нерентабельности освоения существенной части балансовых запасов месторождений. Сохранение этого состояния, а также отсутствие требуемых инвестиций и средств для освоения новых геотехнологий резко снижают уровень использования потенциала горной промышленности и не обеспечивают конкурентоспособность ее продукции (по номенклатуре, качеству и стоимости) на мировом рынке.

Основные направления развития горного дела в РФ в XXI в. стимулируют в первую очередь способы добычи и переработки руд черных, цветных и драгоценных металлов, урана, угля, алмазосодержащего, горно-строительного и горнохимического сырья, которые являются наиболее надежным плацдармом развертывания крупных инновационных проектов. При этом открытый способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых был во 2-й половине XX в. и остается в 1-й половине XXI в. генеральным направлением развития горнодобывающей промышленности России, несмотря на все более усложняющиеся геологические и суровые природно-климатические условия освоения месторождений Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и других регионов. Так, например, если глубина карьеров и угольных разрезов в первой половине XX в. не превышала 200—300 м, во второй половине она возросла до 600—700 м, а перспективные карьеры XXI в. ориентированы на глубину 900 м и более.

Эффективность освоения глубокозалегающих месторождений потребовала от горных наук оптимизировать параметры горных работ, техники и технологии, изучить и разрабатывать принципы рационального сочетания различных ресурсосберегающих, малоотходных и ресурсовоспроизводящих технологических процессов и прежде всего предусматривающих широкое применение автоматизированных систем планирования и методов управления добычей полезных ископаемых, особенно при разработке уникальных по масштабам распространения, как, например, КМА. Исследованиями ученых и производственников обоснованы и реализованы коренные изменения геотехнологии освоения месторождений КМА с полной утилизацией всех образующихся отходов добычи и переработки в подземном выработанном пространстве с замкнутым оборотным водоснабжением горных предприятий (рис. 1) [1].



Рис. 1. Поверхностная часть закладочного комплекса  
Fig. 1. Surface part of the filling complex

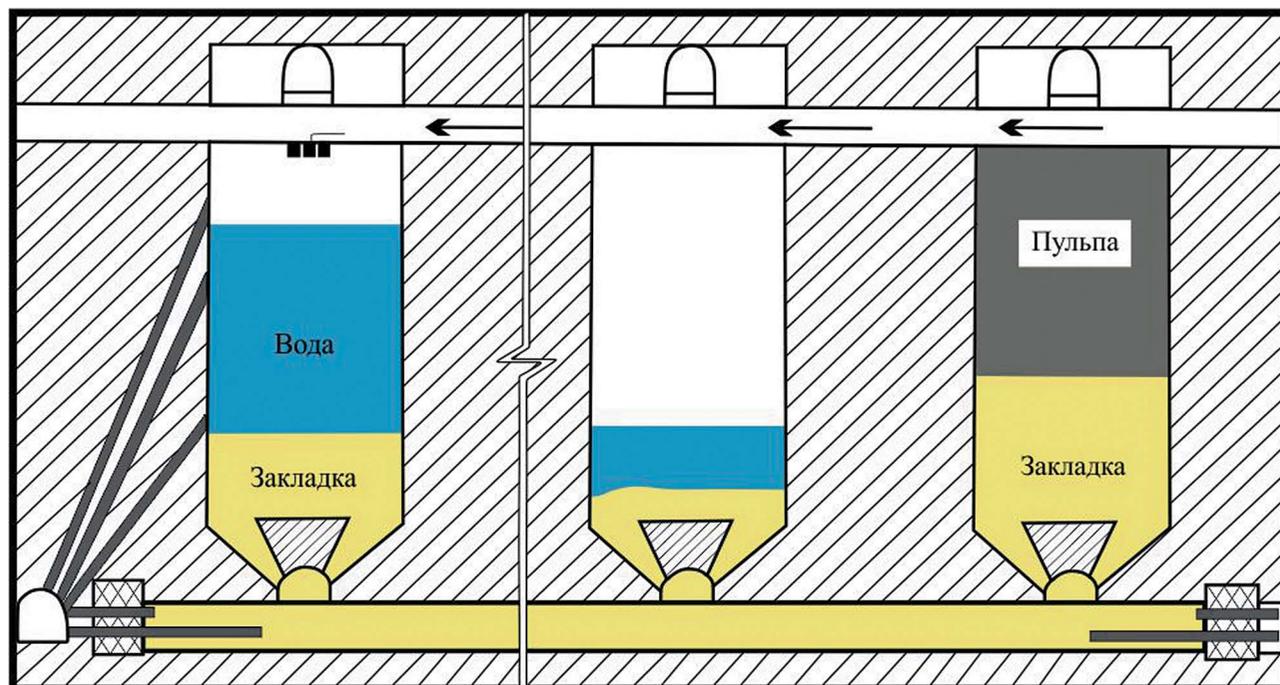


Рис. 2. Формирование консолидированного природно-техногенного массива в недрах Земли  
Fig. 2. Formation of a consolidated natural-technogenic massif in the bowels of the Earth

При реализации этих геотехнологий не требуется изъятие дополнительных плодородных земель, сокращаются потери полезных ископаемых

в целиках и потолочинах, обеспечивается сохранность подработанных территорий и природно-техногенных запасов, оставленных в земных недрах.

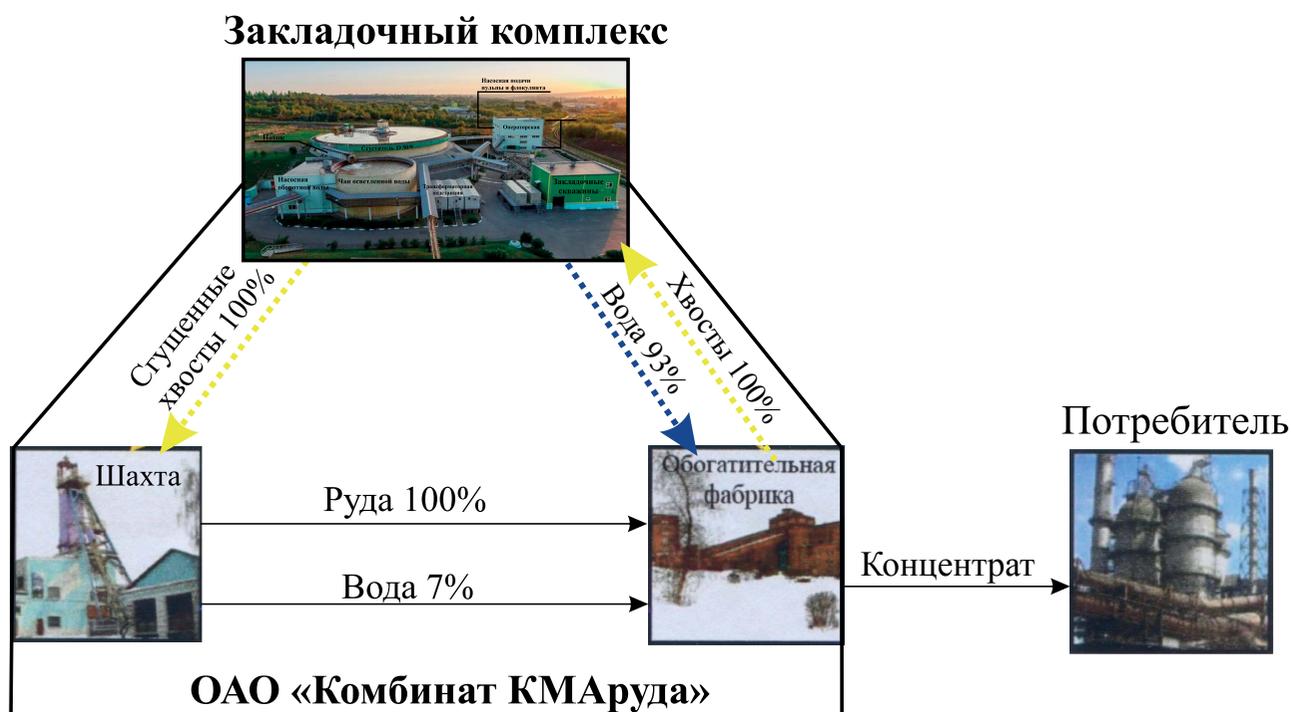


Рис. 3. Технологическая схема движения минерально-сырьевых потоков  
 Fig. 3. Technological scheme of the movement of mineral raw materials flows

Эти геотехнологии адаптированы к условиям действующих комбинатов КМАруда, Лебединского, Стойленского, Михайловского.

В промышленном масштабе реализован способ приготовления закладочной смеси (рис. 2) с формированием из отходов добычи и переработки руд природно-техногенного массива (рис. 3), который становится элементом горнотехнической системы эксплуатации месторождений и служит для повышения устойчивости и несущей способности ограждающих конструкций, сохранения георесурсов для перспективного вовлечения их в промышленную эксплуатацию и гидрогеологического баланса региона за счет полного оборотного водообеспечения горно-обогатительных предприятий.

Широкий спектр выполненных исследований в конце XX — начале XXI веков, охватывающих проблемы развития горной техники, технологии, геомеханики, экономики освоения недр и геоэкологии, позволяет обоснованно рассмотреть возможность изменения парадигмы освоения ресурсов из недр в том виде, в каком их создала природа.

Уже в ближайшей перспективе человечество должно осваивать месторождения полезных ископаемых с разработанными и заданными параметрами, обеспечивающими минимизацию отходов и загрязнения окружающей среды.

### Заключение

Технологии целенаправленного формирования месторождений целесообразно создавать на основе принципа геотехнологического продолжения образования полезных компонентов искусственными методами с использованием природных сил для преобразования залежей к состоянию, максимально приемлемому к последующей разработке. Технологии должны предусматривать создание в массиве условий для пространственного обособления полезных компонентов, изменение физических свойств пород, условий залегания полезных ископаемых и — на этой основе — повышение эффективности традиционных и новых способов освоения месторождений. Применение этих технологий позволит расширить сырьевую базу за счет повышения концентрации полезных компонентов в недрах и вовлечения в разработку бедных месторождений и рудопроявлений; увеличить ценность месторождений за счет попутных компонентов, получаемых в процессах вещественных преобразований руд; снизить глубину горных работ за счет формирования техногенных залежей на геохимических барьерах вблизи поверхности Земли; сократить сроки разработки месторождений; снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Для создания таких технологий потребуется глубокая интеграция усилий геологов, геохимиков, геофизиков, экологов и горняков.

В последние годы в ИПКОН РАН разрабатываются научные основы создания принципиально

новой технологической базы природоподобных технологий, т.е. фактического включения технологии в цепочку замкнутого и самодостаточного ресурсооборота, который существует в природе. [2, 3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А. Разработка рудных и нерудных месторождений. М.: Недра, 1970. 456 с.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Арсентьев В.А. Ресурсосберегающая технология и комплекс оборудования для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. 2012. № 8.
3. Проблемы комплексного освоения суперкрупных месторождений стратегического сырья / Под ред. академика РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. М.: ИПКОН РАН, 2006. 486 с.
4. Проблемы техногенного освоения суперкрупных рудных месторождений / Под ред. академика РАН К.Н. Трубецкого, член-корреспондента РАН Д.Р. Каплунова. М.: ИПКОН РАН, 2004, 416 с.
5. Сабянин Г.В. Биоинженерные принципы построения подземных геотехнологий // Экологические системы и приборы. 2005. № 4. С. 36.
6. Трубецкой К.Н. Развитие новых направлений в комплексном освоении недр. М.: ИПКОН АН СССР, 1990.
7. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В. Особенности методологии создания и применения природоподобных горных технологий при освоении минеральных ресурсов Арктики // ФТПРПИ. 2019. № 3. С. 53—61.
8. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Томаев В.К., Помельников И.И. Ресурсовоспроизводящие экологически сбалансированные геотехнологии комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии // Горный журнал. 2014. № 8. С. 45—49.
9. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. 2019. № 5. С. 6—13.
10. Чантурия В.А. Направления исследований в области обогащения полезных ископаемых // Горный вестник. 1995. № 2. С. 37—42.

## REFERENCES

1. Agoshkov M.I., Borisov S.S., Boyarskij V.A. Razrabotki rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij. Moscow: Nedra, 1970. 456 s. (In Russian).
2. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Arsent'ev V.A. Resursosberegayushchaya tekhnologiya i kompleks oborudovaniya dlya vysokoproizvoditel'noj zakladki vyrabotannogo prostranstva pri podzemnoj otrabotke mestorozhdenij tverdyh poleznyh iskopaemyh // Gornyj zhurnal. 2012. № 8 (In Russian).
3. Problemy kompleksnogo osvoeniya superkрупnyh mestorozhdenij strategicheskogo syr'ya / Pod redakciej akademika RAN K.N. Trubeckogo, chl.-korr. RAN D.R. Kaplunova. Moscow: IPKON RAN, 2006. 486 s. (In Russian).
4. Problemy tekhnogenного osvoeniya superkрупnyh rudnyh mestorozhdenij / Pod redakciej akademika RAN K.N. Trubeckogo, chlen-korrespondenta RAN D.R. Kaplunova. Moscow: IPKON RAN, 2004. 416 s. (In Russian).
5. Sabyanin G.V. Bioinzhenernye principy postroeniya podzemnyh geotekhnologij // Ekologicheskie sistemy i pribory. 2005. № 4. S. 36 (In Russian).
6. Trubeckoj K.N. Razvitie novyh napravlenij v kompleksnom osvoenii neдр. Moscow: IPKON AN SSSR, 1990 (In Russian).
7. Trubeckoj K.N., Galchenko Yu.P., Kalabin G.V. Osobennosti metodologii sozdaniya i primeneniya prirodopodobnyh gornyh tekhnologij pri osvoenii mineral'nyh resursov Arktiki // FТПRPI. 2019. № 3. S. 53—61 (In Russian).
8. Trubeckoj K.N., Kaplunov D.R., Tomaev V.K., Pomel'nikov I.I. Resursovoproizvodyashchie ekologicheski sbalansirovannye geotekhnologii kompleksnogo osvoeniya mestorozhdenij Kurskoj magnitnoj anomalii // Gornyj zhurnal. 2014. № 8. S. 45—49 (In Russian).
9. Trubeckoj K.N., Myaskov A.V., Galchenko YU.P., Eremenko V.A. Obosnovanie i sozdanie konvergentnyh gornyh tekhnologij podzemnoj razrabotki moshchnykh mestorozhdenij tverdyh poleznyh iskopaemyh // Gornyj zhurnal. 2019. № 5. S. 6—13 (In Russian).
10. Chanturiya V.A. Napravleniya issledovanij v oblasti obogashcheniya poleznyh iskopaemyh // Gornyj vestnik. 1995. № 2. S. 37—42.

## ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Трубецкой К.Н. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Kliment N. Trubetskoy — made the main contribution to the development of the concept of the article, conducted a granulometric analysis, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Трубецкой Климент Николаевич** — доктор технических наук, профессор, специалист в области разработки месторождений твердых полезных ископаемых, комплексного освоения недр и экологии горного производства. Академик РАН (1991), действительный член Академии горных наук и Нью-Йоркской академии наук. Президиум РАН, ФГБУ «Российская академия наук»  
14, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия  
SPIN-код: 3238-2952  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9246-638X>  
ResearcherID: E-1221-2014  
Scopus ID: 9739995400

**Kliment N. Trubetskoy** — Prof., Dr. of Sci. (Engineering), specialist in the field of development of solid mineral deposits, integrated development of mineral resources and ecology of mining. Academician of the Russian Academy of Sciences (1991), full member of the Academy of mining Sciences and the New York Academy of Sciences, RAS Presidium, Russian Academy of Sciences  
14, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia  
SPIN: 3238-2952  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9246-638X>  
ResearcherID: E-1221-2014  
Scopus ID: 9739995400