

Проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов земной коры

Л.В. Оганесян¹✉, Е.Г. Мирлин²

¹ Российское геологическое общество, г. Москва, Российская Федерация

² Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Российская Федерация

✉ oganesian@alliance-gr.com

Резюме: На основе концептуального подхода В.И. Вернадского рассмотрена обоснованность тревоги относительно исчерпания минеральных ресурсов в земной коре. Дана количественная оценка неуклонно возрастающего вовлечения элементов периодической системы в народнохозяйственную деятельность, показан междисциплинарный характер проблемы на примере перспектив использования твердых полезных ископаемых Мирового океана и содержащихся в них металлов. Показано, что мировоззренческий аспект проблемы находится в тесной связи с общим трендом развития цивилизации и с тенденциями в изменениях запросов человечества. Сделан вывод об обоснованности тревоги, однако причина этой тревоги заключается не в исчерпаемости минеральных ресурсов: ресурсы недр можно считать неисчерпаемыми для достаточно продолжительного масштаба времени, сопоставимого с геологическим. Ее основа – в непоправимом ущербе природной среде, который наносит человек, извлекая из земной коры элементы периодической системы во все возрастающем количестве и вовлекая их в свою деятельность.

Ключевые слова: исчерпание, периодическая система элементов, природная среда, цивилизация, мировой океан, ресурсы недр

Для цитирования: Оганесян Л.В., Мирлин Е.Г. Проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов земной коры. *Горная промышленность*. 2019;(6):100–105. DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-100-105.

Issues of Resource Depletion in Earth Crust

L.V. Oganessian¹✉, E.G. Mirlin²

¹ Russian Geological Society, Moscow, Russian Federation

² Vernadskiy State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ oganesian@alliance-gr.com

Abstract: Relevance of concerns regarding the exhaustibility of elements of the mineral resources in the Earth's crust was studied based on the V.I. Vernadskiy's conceptual approach. The paper provides a quantitative assessment of the ever increasing use of different mineral resources in the economic activities. The cross-disciplinary nature of this problem is exemplified by the potential use of solid minerals deposited in the world oceans, and metals contained in these minerals. It was demonstrated that the attitude towards this problem is closely connected to the general trends in the development of civilization and with tendencies in changes of the human demands. A conclusion was made that these worries are justified, however, the cause of this anxiety does not lie in the exhaustibility of the mineral resources: Resources of the Earth's crust can be considered inexhaustible for a significantly long period of time that is comparable to the geologic time scales. The root cause is the irreversible damage to the natural environment done by the humans through mining subsoil resources at exponentially increasing rates and using them in economic activities.

Keywords: depletion, periodic table, natural environment, civilization, world oceans, subsoil resources

For citation: Oganessian L.V., Mirlin E.G. Issues of Resource Depletion in Earth Crust. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(6):100–105. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-100-105.

Введение

Проблема возможного истощения природных ресурсов во все времена волновала человечество. Она всегда занимала видное место в прогнозах крупнейших ученых, естествоиспытателей, философов, фантастов, предсказателей. Проблема с особой остротой ставилась и продолжает обсуждаться применительно к невозобновляемым ресурсам – к широкой гамме минерального сырья, сосредоточенного в земной коре. И это не случайно. Весь опыт человечества, закрепленный на генетическом уровне, убедил общество и каждого индивидуума в том, что без тепла и света нет жизни, а без металлов и других минеральных ресурсов исчезнут компоненты социально-экономической сферы. Их источниками являются именно минеральные ресурсы, извлекаемые из земной коры; почти все остальные атрибуты окружающего нас быта: машины, дома, бытовые приборы, средства защиты собственной жизни и т.д. – являются производными от них.

Человеческая цивилизация проделала грандиозный путь в неуклонном и растущем вовлечении в свою деятельность элементов периодической системы Д.И. Менделеева. Начиная от камня, через железо и бронзу человечество пришло к применению практически всех элементов периодической системы. Более того, номенклатура используемых ресурсов стала одним из четких индикаторов уровня экономического развития общества. Материальные запросы человечества постоянно возрастают, и на фоне этого неуклонного тренда все более негативным становится его воздействие на природную среду. Совокупность этого и других факторов обуславливает рост тревоги о конечности природных ресурсов, сосредоточенных в земной коре. Особенно она усилилась в последние десятилетия, причем в настоящее время можно говорить и о беспокойстве, обусловленном возможным истощением ресурсов земной коры в целом, и об отдельных элементах периодической системы.

Рассматриваемая проблема носит мировоззренческий характер, в связи с чем она рассматривается нами с упором на концептуальные подходы В.И. Вернадского. В работе «Биосфера» он с горечью замечает: «*Меня давно уже удивляет отсутствие стремления охватить Природу как единое целое в областях эмпирического знания, где мы, однако, можем это сделать. Мы нередко даем простое собрание фактов и наблюдений там, где мы можем дать целое*» [1, с. 175]. В свете этой констатации великого естествоиспытателя возможная конечность минеральных ресурсов анализируется как единая целая проблема, включающая в себя различные аспекты. Первый – количественный: тенденция расширения номенклатуры минерально-сырьевых ресурсов, используемых в народном хозяйстве, очевидна. Важно дать количественные оценки этой тенденции, в связи с этим были рассмотрены методология таких оценок и их результаты. Второй – междисциплинарный: современная наука достигла поистине виртуозности в том, что касается расчленения единого природного объекта на части, на мельчайшие компоненты. Одновременно неуклонно растет число проблем, где именно междисциплинарные исследования совершенно необходимы для углубленного понимания их природы и значения. Рассматриваемая проблема относится именно к этой категории, поскольку минералогические таксоны (от провинций до рудных тел) локализованы в разнообразных геологических обстановках, в том числе на дне Мирового океана. Наконец, третий – научно-методический: пробле-

ма истощения минеральных ресурсов в целом тесно увязана с общим трендом развития геологической науки и ставит перед ней новые крупные и неотложные проблемы.

Количественный аспект

Основой современной промышленности являются вся гамма твердых полезных ископаемых и углеводородное сырье. Информация о минерально-сырьевой базе этих природных ресурсов содержится в обзорах и статистических справочниках ¹, имеющиеся в них данные были положены в основу проведенных оценок. Рассмотрим вначале динамику роста объемов добычи черных и цветных металлов, извлекаемых из месторождений соответствующих руд [2]. Достоверные сведения имеются для 1987 и 2014 гг., что позволяет охарактеризовать рост добычи за более чем четверть века, т.е. за достаточно продолжительный промежуток времени (табл. 1).

Таблица 1
Мировые объемы добычи черных и цветных металлов в 1987 и 2014 гг.

Table 1
Global extraction of ferrous and non-ferrous metals in 1987 and 2014

Металлы	Добыча		Кратность к 1987 г.
	1987 г.	2014 г.	
Железо, млн т	502,02	1966,14	+ 3,92
Марганец, тыс. т	12 544,7	48 920	+ 3,90
Хром, тыс. т	9930	29 609	+ 2,68
Итого: черные металлы, млн т	524,49	2044,67	+ 3,89
Медь, тыс. т	6387,1	18 228	+ 2,85
Никель, тыс. т	549	2448,5	+ 4,46
Свинец, тыс. т	2275,2	5634,5	+2,48
Цинк, тыс. т	5030,6	13 693	+ 2,72
Итого: цветные металлы, тыс. т	14 241,9	40 004	+ 2,81

Составлено с использованием данных: Минеральные ресурсы мира: стат. справ. М.: Минерал; 2016; Минеральные ресурсы развитых и развивающихся капиталистических стран (на начало 2014 г.). М.: ВНИИЗарубежгеология; 1988.

Очевидно, что объем добычи основных металлов за рассматриваемый период резко возрастает: для большинства металлов кратность роста превышает 2,5 раза, а максимальная ее величина (для никеля) составляет 4,46. Если сопоставить рост добычи полезных ископаемых с данными по росту народонаселения Земли за рассматриваемый период, то выясняется, что до конца третьей четверти XX в. темпы роста объемов добычи полезных ископаемых соответствовали (или немного превышали) темпам роста народонаселения. Принципиальные изменения произошли за последние более чем четверть века: среднегодовые темпы роста добычи минерального сырья значительно превзошли темпы роста населения. По черным и цветным металлам увеличение составило в 4 раза, по редким и редкоземельным элементам – почти в 8 раз, по топливно-энергетическим ресурсам – в 2 раза. Тем самым количественные оценки подтверждают нарастающие со временем масштабы использования человечеством ресурсов земной коры.

Другой важный фактор – крайняя неравномерность обеспеченности народонаселения Земли основными металлами и углеводородами (табл. 2).

¹ Минеральные ресурсы мира: стат. справ. М.: Минерал; 2016; Минеральные ресурсы развитых и развивающихся капиталистических стран (на начало 2014 г.). М.: ВНИИЗарубежгеология; 1988.

Таблица 2
Распределение запасов минерального сырья и народонаселения. Показатель обеспеченности сырьем по миру в целом принят за единицу

Table 2
Distribution of mineral reserves and human population The global raw material availability index in taken as the unit of measurement

Полезное ископаемое	Кол-во стран	% от мировых запасов	% от мирового населения	Показатель обеспеченности одного жителя	
				по учтенным странам	по другим странам
Нефть	14	85	33	2,6	0,22
Газ	6	67	9	7,4	0,25
Уголь	7	78	46	1,7	0,41
Уран	7	80	5	16	0,21
Железо	7	69	33	2,1	0,46
Марганец	8	88	7,5	11,7	0,15
Медь	7	63	29	2,2	0,52
Никель	5	84	4	21	0,17
Свинец	8	69	29	2,4	0,44
Цинк	10	87	42	2,1	0,22
Вольфрам	5	83	25	3,3	0,23
Молибден	6	75	25	3	0,33
Фосфатное сырье	8	81	9	9	0,23

Примечание. В таблице учтены страны, имеющие запасы, составляющие 1% и более от мировых.

При проведении оценок учитывались минерально-сырьевые ресурсы тех стран, которые располагают ресурсами, составляющими 1% и более от мировых. Выяснилось, что 14 стран с населением 33% от мирового располагают 85% общемировых запасов нефти. Не менее контрастная картина наблюдается по черным, цветным и другим металлам. Так, 80% запасов столь значимого для атомной промышленности урана сосредоточено всего в 7 странах, при этом в них проживает всего 5% населения Земли. Эту неравномерность можно количественно охарактеризовать, введя показатель обеспеченности одного жителя нашей планеты полезными ископаемыми, если принять ее за 1. Как видно из таблицы, показатели обеспеченности на одного жителя 14 учтенных стран с наибольшими запасами минерального сырья отличаются более чем на порядок по сравнению с обеспеченностью других стран. Существенно, что различие касается таких стратегических видов сырья, как нефть и газ. Столь контрастная неравномерность распределения природных минерально-сырьевых ресурсов вносит дополнительный вклад в напряженность и тревогу относительно их достаточности в долгосрочной перспективе. Эта объективная, обусловленная самой природой ситуация, становится почвой для спекулятивных геополитических барьеров при решении исключительно экономических вопросов в системе мировой торговли. Неравномерность в распределении ресурсов не может быть коренным образом изменена. Ситуация по мере исчерпания давно эксплуатируемых месторождений и обнаружения новых может быть лишь частично трансформирована, но сохранится как отражение всеобщего закона взаимодействия разнообразных природных процессов в земной коре и литосфере в целом.

Междисциплинарный аспект

В первые годы второй половины XX в. стало очевидно, что потенциал месторождений, имеющих выходы на дневную поверхность, стремительно сокращается

[3–5]. Стала очевидной острая необходимость поисков так называемых «слепых» рудных тел и месторождений. В этой сфере достигнуты огромные успехи. Вместе с тем очевидно, что глубины поисков, разведки и отработки месторождений, помимо других факторов, лимитируются технико-технологическими и экономическими ограничениями. По этой причине взоры человечества, остро нуждающегося в минеральном сырье, все чаще обращаются к Мировому океану, где были открыты масштабные скопления металлических полезных ископаемых (см. [6; 7] и др.). Они представлены железомарганцевыми конкрециями (ЖМК), кобальтмарганцевыми корками (КМК) и глубоководными полиметаллическими сульфидами (ГПС). Большинство скоплений океанских руд располагаются в пределах международных вод Мирового океана и объявлены общечеловеческим достоянием. Россия является первой страной, которая в 2001 г. получила от Международного органа по морскому дну (МОМД) контракт на проведение геологоразведочных работ на ЖМК в разведочном районе в пределах обширной рудной провинции Кларифон-Клиппертон (центральная часть Тихого океана). Кроме того, наша страна имеет контрактное право на проведение работ по рудным скоплениям КМК и ГПС [6].

Уже выполненные детальные исследования в пределах разведочных районов позволили установить, что ресурсный потенциал всех трех видов скоплений значителен и сопоставим с потенциалом суши (табл. 3).

Таблица 3
Сравнительный минерально-сырьевой потенциал суши и Мирового океана

Table 3
Relative mineral and raw material potential of the dry land and the world oceans

Металлы	Суша	Мировой океан
Марганец, млн т	20 094	13 649
Никель, тыс. т	271 608	47 100
Медь, тыс. т	2 231 346	301 034
Кобальт, тыс. т	19 252	225 000

Примечание: По суше приведены суммарные величины прогнозных ресурсов и запасов соответствующих металлов.

Более того, по кобальту он более чем на порядок превышает ресурсный потенциал суши. Нет сомнения, что по мере отработки запасов и ресурсов на континентах наступит эпоха освоения руд Мирового океана, причем тенденция эта будет иметь общемировой характер. Однако не менее очевидно, что ее реализация на практике потребует решения совершенно новых задач с привлечением специалистов – представителей различных научных дисциплин и их тесного взаимодействия. Междисциплинарный подход к решению данной проблемы обусловлен рядом факторов. Прежде всего аналогов ЖМК, КМК на континентах не существует. Отсутствие аналогов относится и к геологическим условиям локализации океанских руд, специфике их минерального состава, минерально-геохимической зональности и к другим существенным особенностям. В результате скопления этих руд не могут быть отнесены к какому-либо промышленно-генетическому типу месторождений, известных на суше. Следовательно, методики их прогнозной оценки, разведки, подсчета и категоризации запасов не могут быть реализованы через копирование методики геологоразведочных работ на суше. Кроме того, переход к отработке океанских руд потребует создания комплекса технических средств и технологии их добычи, транспортировки, первичной и металлургической переработки. Не исключено, что весь

технико-технологический комплекс должен иметь свою специфику применительно к ЖМК, КМК и ГПС. Должны быть учтены также условия добычных работ в зависимости от стационарного базирования на добычном участке, периодичности их проведения. Разумеется, созданный технико-технологический комплекс и режим его функционирования должны обеспечивать соблюдение экологической безопасности природной среды океана.

Хотя аналогом ГПС на континентах считаются колчеданные руды [7], сведения об их внутренней минералогической, геохимической и структурной зональности недостаточны, что затрудняет разработку научной основы для разработки методики разведки, оценки и подсчета запасов. Несомненно, благоприятным фактором при добыче ЖМК, КМК и ГПС будет то, что все они выходят на поверхность дна и вскрышных работ не потребуется. Высокие содержания основных и попутных компонентов, значительный объем рудной массы свидетельствуют в пользу освоения океанских руд. Тем не менее их высокая природная ценность, определенная по аналогии с традиционными месторождениями континентов, не может служить надежным экономическим критерием их конкурентоспособности с континентальными рудами. Чтобы ее доказать, необходимо получить сведения о соотношении между издержками работ по их добыче, транспортировке, переработке и ценностью самих руд. В то же время эти сведения невозможно получить без знания способов, техники и технологии добычи и их переработки. В настоящее время вполне очевидно, что освоение минерально-сырьевого потенциала океанской земной коры – комплексная, междисциплинарная проблема, включающая в себя необходимость совместного решения ряда задач: геологических, экологических, технико-технологических, социальных и др. Здесь открывается новая область междисциплинарного и межотраслевого научно-прикладного взаимодействия и кооперации. Можно не сомневаться в том, что человечеству суждено перейти к освоению океанских руд. Этот процесс широким фронтом начнется в XXI в., возможно даже в первые годы его второй половины.

Научно-методический аспект

С одной стороны, минеральные ресурсы земной коры являются национальной принадлежностью, с другой –

общечеловеческим достоянием. Несомненно, тренд развития цивилизации должен решить это противоречие, причем в пользу последнего. Понимание этой неизбежности должно лечь в основу международного сотрудничества и соблюдения морально-этических норм как важное условие ноосферного развития в соответствии с учением В.И. Вернадского. Другими словами, растущие материальные запросы человека и наука, обеспечивающая эти запросы, ставят перед ним серьезную морально-этическую проблему: имеется ли предел потребительскому буму?

Во второй половине XX столетия обозначилась еще одна тенденция, которая была не столь явно выражена в его начале, и которая, по сути, усугубляет указанный морально-этический императив. Суть ее в том, что наблюдается некий «парадокс»: невзирая на прогрессирующее использование и потребление минерального сырья, его балансовые запасы² в разных странах мира (включая топливно-энергетическое сырье) постоянно возрастают (табл. 4). Обращает на себя внимание то, что кратность роста запасов и снижения содержания полезных компонентов в рудах сопоставимы по абсолютным величинам. Природа этого «парадокса» обусловлена рядом причин. К ним относятся: во-первых, возрастающая степень геологической изученности недр, что влечет за собой открытие новых месторождений, хотя и не выходящих на земную поверхность (у геологов они носят название «слепых»), но неглубоко залегающих. Во-вторых, увеличение глубин, доступных для добычи сырья. Этому способствует исчерпание фонда месторождений, располагающихся на современном эрозионном срезе. В-третьих, постепенное и непрерывное смещение понятия «руда–пустая горная порода» в сторону «пустой породы». Уже во второй половине XX в. произошел переход от добычи сплошных руд к добыче прожилковых, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд. Образно говоря, резко снизились требования к качеству руд, т.е. минимально допустимым содержаниям металлов в них. С учетом данного фактора можно уверенно утверждать, что по критериям, принятым в геологии и горном деле XIX в. и даже начала XX в., полезные ископаемые на нашей планете уже

² Балансовые запасы – группа запасов полезных ископаемых, использование которых экономически целесообразно при существующих либо осваиваемых промышленностью технике и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований законодательных актов по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

Таблица 4
Динамика запасов полезных ископаемых и минимальных пределов содержания металлов в рудах в 1987 и 2014 гг.

Table 4
Dynamics of mineral reserves and minimum metal content in ores in 1987 and 2014

Металлы	1987 г., начало		2014 г., начало		Кратность роста (+), снижения (-)	
	Запасы	Минимальное содержание металла в руде, %	Запасы	Минимальное содержание металла в руде, %	запасов	содержания металлов
Железо, млн т	109 008	-40	265 669	-30	+2,44	-1,33
Марганец, млн т	4201,5	-32	5506	-22	+1,31	-1,45
Хром, млн т	3412,4	-25*	4002,2	-20*	+1,17	-1,25
Итого: черные металлы, млн т	116 621,9		275 177,2		+2,36	
Медь, тыс. т	477 040	-0,7	856 666	-0,4	+1,8	-1,75
Никель, тыс. т	45 745	-0,7	84 698	-0,3	+1,85	-2,33
Свинец, тыс. т	86 460	-1,1	136 329	-0,6	+1,58	-1,83
Цинк, тыс. т	171 110	-4	321 473	-2,0	+1,88	-2,0
Итого: цветные металлы, тыс. т	780 355		1 399 166		+1,79	

* Содержание Cr₂O₃

Составлено с использованием данных: Минеральные ресурсы мира: стат. справ. М.: Минерал; 2016; Минеральные ресурсы развитых и развивающихся капиталистических стран (на начало 2014 г.). М.: ВНИИЗарубежгеология; 1988.

исчерпаны. Однако новые технологии добычи полезных ископаемых и переработки рудной массы обуславливают рост запасов и минеральных ресурсов. Именно благодаря этому появляются так называемые нетрадиционные источники сырья. К ним, в частности, принадлежат углеводороды, называемые «сланцевыми», о которых так много сказано в последние годы. Геологам-нефтяникам хорошо известно, что все осадочные породы содержат углеводороды в жидком или газообразном состоянии или в виде битумов. Это по сути некий аналог кларков химических элементов. Вопрос лишь в наличии технологии их эффективного извлечения и экономической целесообразности всего этого процесса. И не случайно, что шумиха вокруг «сланцев» возникла в период максимума цен на углеводородное сырье.

Если продолжить тренд «руда–пустая порода» в сторону «пустой породы», то в своем пределе полезным ископаемым могут стать обычные горные породы – ведь в них общая масса полезных компонентов многократно превышает массу всех химических элементов, сконцентрированных в рудах. Разумеется, находятся они в исключительно рассеянном состоянии. В 1909 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей В.И. Вернадский говорил, что в песчинке или капле, как в микрокосмосе, отражается общий состав космоса; химические элементы находятся всюду, они собраны в состоянии величайшего рассеяния. Для демонстрации интегрального сырьевого потенциала земной коры приведем следующий наглядный пример. Среднее содержание золота в коре составляет 0,003 г/т. Если пересчитать его суммарное количество до глубин, доступных для добычных технологий (около 3 км), то получим астрономическую величину в миллиарды тонн, при том, что за всю историю человечества добыто около 200 тыс. т золота. Нетрудно оценить, что аналогичная картина может быть получена и по другим элементам периодической системы. Другими словами, ресурсы недр можно считать неисчерпаемыми, разумеется, для достаточно продолжительного масштаба времени, сопоставимого с геологическим. Казалось бы, о чем беспокоиться?

Однако при оценке общей картины вступает в силу фактор «человека как геологической силы» в понимании В.И. Вернадского. Причина в том, что извлечение полезных компонентов из обычных горных пород в возрастающих объемах неизбежно приведет к необратимым и отрицательным трансформациям в геологической среде. Оно будет сопровождаться разрушением естественных ландшафтов, образованием новых форм рельефа во все больших масштабах, гигантскими провалами на поверхности Земли. Эти трансформации, помимо создания целого комплекса экологических проблем, послужат триггерами для механизма техногенных катастроф. Но необратимые последствия затронут не только геологическую среду, они, несомненно, охватят все геосферы: гидросферу, биосферу, атмосферу в силу постоянного обмена веществом и энергией между этими оболочками [8]. Примером тому являются экологические последствия так называемой «сланцевой революции». При одном гидроразрыве пласта, которое необходимо осуществить для извлечения из него углеводородов, объем закачанной в недра воды достигает 5–10 тыс. т, объем рыхлого наполнителя – 500–1000 т, а химикатов 200 т (бензол, соляная кислота и др.). Разумеется, это сопровождается отравлением подземных вод, что в последующем неминуемо оказывает отрицательное влияние на биоценозы. При этом из-за короткого жизнен-

ного цикла «сланцевых скважин» их бурят не десятками, а сотнями и тысячами. Весьма знаменательно, что широкая практическая реализация «достижений сланцевой революции» в США со всем набором отрицательных экологических последствий не вызвала на родине «сланца» массовых протестов ревностных охранителей окружающей среды. Лучшего указателя дифференциации массовых акций ортодоксальных экологов на «своих» и «чужих», слияния с геополитикой и санкционными мерами вряд ли может быть.

Возвращаясь к твердым полезным ископаемым, следует отметить один немаловажный факт. По мере снижения требований к содержанию полезных компонентов (в основном металлов) в перерабатываемой горной массе переход к нетрадиционным источникам металлов, техногенным скоплениям и, в пределе, к рядовым горным породам – неизбежно приведет к резкому увеличению энергозатрат, необходимых для получения единицы полезного компонента. Относительные энергозатраты при этом неизбежно будут больше. Другими словами, возникает противоречие между стремлением к энергоэффективности и энергопотреблением.

Заключение

Что касается минеральных сырьевых ресурсов земной коры, то настоящее время отмечено борьбой между национальными интересами и общечеловеческими ценностями. Отголоски этой борьбы прослеживаются в высказываниях крупных ученых и общественных и государственных деятелей, на массовых публичных акциях глобалистов и антиглобалистов. Звучащая на них тревога относительно исчерпания минеральных ресурсов земной коры обоснована, но было бы неверно связывать эту тревогу с тем, что в будущем наступит дефицит какого-либо из элементов или группы элементов. Их количества в земной коре вполне достаточно для удовлетворения запросов человека, а все более совершенная технология их извлечения даже из обычных горных пород обеспечивает растущие его потребности в обозримый период времени. Но, как показывает уже имеющийся опыт, извлекая элементы из геологической среды, человек наносит ей и природной среде в целом неизлечимые раны. Человек доселе не осознал последствий своего воздействия на природу как воздействие геологического масштаба, не осознал себя как «геологическую силу» и, не отдавая себе отчет в своем «могуществе», продолжает наращивать уровень своего потребления. Возникают естественные вопросы: Имеются ли границы у этого потребления и, если имеются, то как их определить? Способен ли человек ограничить себя в этом потреблении? Разумеется, ответы на эти вопросы выходят за рамки настоящей статьи, тем не менее сама их постановка представляется весьма актуальной.

Кроме морально-этической проблемы, проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов влечет за собой и весьма серьезный вызов геологической науке. Как отмечалось выше, степень изученности общепринятых минералогических таксонов (провинций, рудных полей и т.д.) близится к пределу и, соответственно, близится к исчерпанию запасы традиционных месторождений полезных ископаемых, приуроченных к верхним горизонтам земной коры. В недалеком будущем ведущую роль станут играть месторождения, залегающие на значительных глубинах. Их обнаружение потребует разработки принципиально новых критериев глубинного прогноза и поисков различ-

ных видов минерального сырья, а этого нельзя достичь, используя прежнюю теоретическую и методологическую базу. Она, как известно, основывается на комплексе предпосылок и признаков, проявленных на дневной поверхности и в пределах малых глубин. Другими словами, назрела проблема разработки минерагенической парадигмы на новой концептуальной основе. Решение этой задачи возможно лишь на основе междисциплинарных исследований, т.е. объединения интеллектуального потенциала геологов, геофизиков, геохимиков и специалистов в области горного дела, а также нелинейной термодина-

мики природных систем [7]. Несомненно, что разработка новой минерагенической парадигмы – общая проблема и для теоретической, и для прикладной геологической науки, и для комплекса горных наук. По существу, речь идет о создании основ «Глобальной минерагении», объединяющей минерагению континентов и океанов, что потребует коренного обновления геотектонических, хронологических, физико-химических и других условий формирования и масштабов распространения минерагенических таксонов – от провинций до кристаллических индивидов.

Список литературы

1. Вернадский В.И. *Биосфера*. М.: Ноосфера; 2001.
2. Оганесян Л.В. Экологические и технико-технологические проблемы освоения нетрадиционных источников минерального сырья. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2019;(2):48–52.
3. Оганесян Л.В. Проблемы сланцевых углеводородов: за и против. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2016;(3):24–29.
4. Мирлин Е.Г. Тектоника плит: что дальше? *Природа*. 2017;(8):15–23.
5. Мирлин Е.Г., Оганесян Л.В. *Вихри в литосфере*. М.: ВНИИГеосистем; 2015.
6. Оганесян Л.В., Андреев С.И., Мирлин Е.Г. Системные проблемы изучения и освоения минерально-сырьевого потенциала российских разведочных районов в Мировом океане. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2018;(4):44–52.
7. Мирлин Е.Г. (ред.) *Металлогения современных и древних океанов*. М.: Геоэксперт; 1992.
8. Мирлин Е.Г., Миронов Ю. В. Взаимодействие геосфер – основа жизни нашей планеты. *Природа*. 2013;(3):43–49.

References

1. Vernadskii V. I. Biosphere. Moscow: *Noosfera*; 2001. (In Russ.)
2. Oganessian L.V. Ecological, technical and technological issues of development of non-conventional sources of mineral raw materials. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie = Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2019;(2):48–52. (In Russ.)
3. Oganessian L.V. Problems of shale hydrocarbons: pros and cons. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie = Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2016;(3):24–29. (In Russ.)
4. Mirlin E.G. Plate tectonic: what next? *Priroda*. 2017;(8):15–23. (In Russ.)
5. Mirlin E.G., Oganessian L.V. Vortices in the lithosphere. Moscow: Vniigeosistem; 2015. (In Russ.)
6. Oganessian L.V., Andreev S.I., Mirlin E.G. Systemic problems of the study and development of mineral resource potential of Russian exploration areas in the World Ocean. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie = Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2018;(4):44–52. (In Russ.)
7. Mirlin E.G. (ed.) *Metallogenic of the modern and ancient oceans*. Moscow: *Geoekspert*; 1992. (In Russ.)
8. Mirlin E.G., Mironov Yu.V. Interaction of Geospheres Is the Foundation of Life of Our Planet. *Priroda*. 2013;(3):43–49. (In Russ.)

Информация об авторах

Оганесян Левон Ваганович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, вице-президент Российского геологического общества, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: oganessian@alliance-gr.com.

Евгений Гилельевич Мирлин – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: egmmir@gmail.com.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.10.2019
 Поступила после рецензирования: 25.11.2019
 Принята к публикации: 05.12.2019

Information about the authors

Levon V. Oganessian – Doctor of geological and mineralogical sciences, Professor, Vice President of the Russian Geological Society, Moscow, Russian Federation; e-mail: oganessian@alliance-gr.com.

Evgeniy G. Mirlin – Doctor of geological and mineralogical sciences, Chief Scientific Officer, Vernadskiy State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: egmmir@gmail.com.

Article info

Received: 15.10.2019
 Revised: 25.11.2019
 Accepted: 05.12.2019