

УДК 622.7

DOI: 10.52531/1682-1696-2023-23-1-55-64

Научная статья

ФОРМИРОВАНИЕ НЕИСЧЕРПАЕМОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ НЫНЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ

М.Ж. БИТИМБАЕВ¹,
М.С. КУНАЕВ², Ж.Н. АЛИШЕВА³

¹ НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

² «CASPIANSERVICESINC.»

³ КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ

Наука и статистика подтверждают полное исчерпание подтвержденных запасов и прогнозных ресурсов металлов в континентальной земной коре до глубины 5000 м в течение 30–150 лет (в зависимости от прогнозов объемов потребности по их видам). Отсутствие альтернативы в историческом масштабе времени производству металлов посредством освоения недр определяет необходимость поиска возможностей обеспечения растущих потребностей человечества. Эта глобальная задача решена открытием месторождений нового типа, создаваемыми доселе неиспользуемыми существующими в природе геохимическими закономерностями.

Ключевые слова: исчерпание сырьевой базы металлов, континентальная земная кора, исторический масштаб времени, геохимические закономерности, месторождения нового типа, глубина антропогенно-технических возможностей, кларки и минимальное промышленное содержание, геотехнологии и минералургия

Основопологающим базисом в общем развитии цивилизации является минерально-сырьевой комплекс. Его состояние должно отвечать требованиям времени, развитие в перспективе, проблемы и приоритеты определяются практическим запросом рынка сырья и должны решаться в обязательном и упреждающем порядке.

Этот мотивирующий фактор был рассмотрен в контексте с анализом обеспеченности мирового рын-

Original article

FORMATION OF AN INEXHAUSTIBLE RAW MATERIAL BASE OF METALS BASED ON CURRENTLY UNUSED GEOCHEMICAL PATTERNS OF INANIMATE NATURE

M.Z. BITIMBAYEV¹, M.S. KUNAYEV²,
Z.N. ALISHEVA³

¹ NATIONAL ENGINEERING ACADEMY OF THE
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN,

² CASPIANSERVICES INC.,

³ AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

Science and statistics confirm the complete depletion of confirmed reserves and predicted resources of metals in the continental earth crust to a depth of 5000 m within 30-150 years (depending on projections of the volume of demand for their types). Absence of alternative in the historical time scale for production of metals by means of development of bowels determines necessity to search the opportunities of providing the growing demands of the mankind. This global problem is solved by the discovery of deposits of a new type, created by hitherto unused existing in nature geochemical patterns.

KEYWORDS: depletion of the raw material base of metals, continental crust, historical time scale, geochemical regularities, deposits of a new type, depth of anthropogenic and technical possibilities, clarks and minimum industrial content, geotechnologies and mineralogy

ка металлов сырьевой базой, который стал причиной излагаемой идеи и определения ее решения.

Идея необходимости поиска и последовательного познания неживой природы для установления объективно существующих закономерностей в недрах Земли, неизвестных ранее как система формирования месторождений полезных ископаемых, возникла как следствие также объективно существующей и известной широкому кругу специалистов действительности, возникшей из-за ожидаемого полного истощения запасов практически всех металлов, содержащихся в традиционных минеральных скоплениях, называемых месторождениями, в континентальной земной коре.

Глубина поисков определена, исходя из антропогенно-технических возможностей, равной 5 км.

Исходя из сказанного, напрашивается единственно верный вывод: человечество не может существовать без использования минерального сырья, но, во-первых, для сохранения природной среды необходимо ограничить использование полезных ископаемых в нынешнем традиционном виде, что невозможно; во-вторых, запасы металлических полезных ископаемых, доступные для добычи, будут в недалеком будущем исчерпаны; в-третьих, они невозобновляемы, поэтому мировое сообщество государств должно определить и сформировать новые возможности в расширенном воспроизводстве сырьевой базы металлов на основе новой трактовки существующих объективно закономерностей глубинного строения массива недр.

Сравнительный анализ состояния подтвержденных запасов полезных ископаемых, их ежегодной добычи из недр и прогноза обеспеченности мировой экономики (с выделением отдельно Казахстана) ими (табл. 1 и табл. 2) показывает, что их хватит для удовлетворения нужд мировой экономики с 2030 как по оптимистическому, так и даже по пессимистическому вариантам не более, чем на 17–20 лет (олово, сурьма, золото) и до 158 лет (титан) [1, 3].

Определение академика РАН К.Н. Трубецкого: «... Рудные и топливные ресурсы являются ограниченными и невозобновляемыми. Их весьма медленное естественное воспроизводство в процессах продолжающейся геологической эволюции примерно в 5–10 тысяч раз отстаёт от современных темпов потребления, практически не может его компенсировать...» [8] характеризует постановку задачи на современном этапе освоения недр из-за намечающегося коллапса.

Основную закономерность рудообразования определяет главный геохимический закон – закон дифференциации вещества Земли, который выстраивает зональность распределения металлов во всех изменениях и на всех уровнях организации вещества. Образование рудных месторождений – переход металлов от рассеяния к концентрации, осуществляемый в процессе перемещения вещества, которое в результате многоступенчатой дифференциации к селективному отложению металлов осуществляет их накопление в рудных телах [5].

Эта работа природы нами определена как отправной критериальный момент для технологических исследований с целью выбора источников добычи металлов нового типа. Учитывая роль магматизма как планетарного процесса, сопровождающего рудную дифференциацию, которые идут параллельно, и вторая вызывается дифференциацией первого, мы определяем источники формирования запасов металлов в месторождениях нового типа. Они при этом будут и природными, и техногенными. Задача решается в отличие от формирования месторождений традицион-

ного типа оценкой в обратном порядке первичных и вторичных (эпигенетических) ореолов. Наряду с их практическим использованием источники металлов в новой трактовке и в зависимости от экономических последствий получения востребованных металлов создаются совместным определением накопления их с использованием латеральной и вертикальной зональностей, карт изоконцентрат, геохимических карт и барьеров. Эти закономерности являются неперменным следствием дифференциального перемещения – зонального отложения металлов [6].

Обратный процесс пересмотра роли геохимических закономерностей в создании скопления металлов в месторождениях нового типа нами определен как основа формирования их, исходя из существующей прямой связи между средними содержаниями металлов (химических элементов) в земной коре (кларками) и их экономическими оценками. Соотношения кларков с суммарными запасами и минимальными промышленными содержаниями были рассчитаны в свое время акад. Л.Н. Овчинниковым [4]. Из графиков, являющихся логарифмическими функциями, мы при практическом их использовании для расчета количества металлов (химических элементов) в зависимости от требуемого для производственных нужд качества (минимального промышленного содержания) в земной коре получаем экспоненциальную (степенную зависимость) в обратной пропорциональности (рис. 1 и 2).

Такие графики для каждого элемента программированием на базе больших данных («big data») позволяют определить достоверно для любого содержания металлов в горной массе земной коры их количество.

Найденный механизм является управляющим для составления перспективных планов будущего развития добычи и производства металлов, обеспечивая создание спокойной экономической обстановки (если не учитывать политическое вмешательство и эгоизм интересов).

Акад. Л.Н. Овчинниковым была выведена эмпирическая зависимость для 39 химических элементов:

$$\Sigma Q = KA,$$

где К – кларк химического элемента, %; А – средний коэффициент пропорциональности, равный для металлов сидерофильной, халькофильной и литофильной групп $2,8 \times 10^{10}$ при точности 0,58 и стандартном отклонении 3,18; ΣQ – суммарные мировые запасы металла.

Отсюда по Л.Н. Овчинникову:

$$\Sigma Q = K [(2,8 \pm 0,6) \pm 6,4] \times 10^{10} \text{ т.}$$

Исходя из этой формулы, Л.Н. Овчинников утверждает, что данная закономерность указывает на небеспредельность возможности перехода металлов

ТАБЛИЦА 1.

Обеспеченность уровней добычи/производства важнейших полезных ископаемых подтвержденными запасами

Полезное ископаемое	Подтвержденные запасы на начало 2019 г.	Добыча/ Производство в 2018 г.	Обеспеченность, лет	В т.ч. Казахстан		
				Подтвержденные запасы по состоянию на 01.01.2020 г.	Добыча/ производство в 2019 г.	Обеспеченность, лет
Нефть, млрд т	247,1	5,2	47	5,20	0,8255	63,0
Газ, трлн м ³	216,9	3,87	56	3,8	0,0564	67,4
Уран, млн т	6,14	0,06	100	0,957	0,01684	56,8
Уголь, млрд т	1035	7,73	134	34,17	0,091	375,5
Железная руда, млрд т	275	2,5	110	19,9	0,034	585,3
Марганцевая руда, млрд т	5,2	0,06	87	0,646	0,0012	538,3
Хромовая руда, млрд т	4,0	0,03	133	0,340	0,0055	61,8
Бокситы, млрд т	30,0	0,30	100	0,292	0,0038	76,8
Медь, млн т	920	20,0	46	39,45	0,861	45,8
Никель, млн т	75,9	2,15	35	0,445	0,00016	2782
Кобальт, млн т	7,5	0,125	60	0,21	–	–
Свинец, млн т	117,0	5,5	21	14,429	0,084	171,8
Цинк, млн т	262,0	14,0	19	29,97	0,551	54,4
Олово, млн т	5,5	0,32	17	0,192	–	–
Вольфрам, млн т	4,0	0,100	40	2,375	–	–
Молибден, млн т	15,0	0,227	66	1,132	0,002	566,0
Сурьма, млн т	1,5	0,130	17	0,016	–	–
Титан, млн т TiO ₂	1483	9,37	158	45,6	0,026	1753,8
Серебро, тыс. т	840	30	28	46,154	0,77	59,9
Золото, тыс. т	64,0	3,26	20	2,419	0,0913	26,5
МПГ, тыс. т	75,5	0,45	168	–	–	–
Алмазы, млн карат	3000*	148,4	28	2414*	–	–
Литий, тыс. т. Li ₂ CO ₃	100000	210	500	–	–	–
Фосфаты, млн т P ₂ O ₅	25500	230	111	1132	0,441	2566,9
Калийная соль, млн т K ₂ O	7900	39,5	200	643,4	–	–
Плакиковый шпат, млн т	224,2	6,8	33	77,6	0,031	2503,2

Примечания:

1) расчет обеспеченности не учитывает прогнозные ресурсы;

расчет сделан на основе мирового уровня добычи в 2014 г. (для Казахстана в 2019 г.);

2) приведенные данные по обеспеченности изменятся в сторону значительного (порой кратного) уменьшения в связи с непрерывным и ураганым

3) по некоторым металлам ростом потребности. Например, в 2040 г. ожидается ежегодное потребление катодной меди 90 млн тонн в год, производство лития в металле ожидается в 2025 г. на уровне 230 тыс. тонн в год (в карбонате лития с учетом сквозного извлечения 0,9 1350 тыс. тонн в год).

от рассеяния к концентрации и этот факт позволяет с достаточной степенью достоверности оценить потенциальные запасы металлов в земной коре. Анализируя данную формулу, нами сделаны следующие выводы:

Суммарные мировые запасы зависят не только от коэффициента корреляции. Наоборот, коэффициент корреляции является производной от величины минимального промышленного содержания, которое, в свою очередь, зависит от уровня развития минера-

лургии во всем своем технологическом разнообразии и от потребностей рынка, диктующего цены. При этом рынок сможет диктовать цены до определенного исторического времени в зависимости от горногеологических и горнотехнических условий добычи и переработки.

Зависимость величины суммарных мировых запасов от кларка, сохраняя свое первостепенное и корректное значение для использования установленной

ТАБЛИЦА 2.

Прогнозируемый мировой объем производства продукции горнометаллургического комплекса в 2030 г.

№№ п/п	Виды продукции	Производство в 2012 г. в мире, млн тонн	Производство в 2012 г. в Казахстане, млн тонн	Прогноз по пессимистическому варианту, млн тонн	Прогноз по оптимистическому варианту, млн тонн	Изменение в 2030 г. к 2012 г. в мире, раз (к оптимистическому варианту)
1	Алюминий	41,600	0,125	83,434	148,981	3,58
2	Медь	19,771	0,420	28,290	28,871	1,46
3	Свинец	4,390	0,107	5,154	5,954	1,36
4	Цинк	13,100	0,405	21,021	24,730	1,89
5	Никель	1,850	–	3,860	4,625	2,5
6	Олово	0,320	–	0,411	0,928	2,9
7	Золото	2 932 750 кг	32 750 кг	3 200 000 кг	3 400 000 кг	1,16
8	Железная руда	2 430,000	48,000	3700,146	10 021,815	4,12
9	Марганец	8,200	0,605	12,990	24,701	3,01
10	Хромовая руда	24,000	3,820	64,877	94,413	3,93
11	Уголь (каменный, коксующийся и бурый)	3 400,000	122,400	3 800,000	4 700,000	1,38
12	Калийные руды	34,000	–	38,39	46,92	1,73
13	Уран	55 700 тонн	20 900 тонн	65 720 тонн	67 731,2 тонн	1,27

Примечания:

1) по производству многих металлов прогнозы на 2050 г. вырастут по сравнению с прогнозом на 2030 г. от 36% до 2 раз.

2) для совместного анализа табл. 2 и 3 следует иметь в виду, что данные по алюминию и марганцу в табл. 3 приведены по количеству металла, в табл. 2 – по количеству руды

закономерности для полезной оценки запасов металлов в земной коре, должна подвергаться корреляции с учетом указанных условий.

Принимая максимальную глубину горных работ по изъятию химических элементов из массива горных пород (традиционной добычей или другими способами), зависящую от антропогенных и технических возможностей, $H_{\text{АТВ}} = 5$ км, мы можем рассчитать прогнозируемые запасы их в континентальной части земной коры в пределах от поверхности до этой глубины.

Установленная закономерность между запасами металла в месторождениях и его средним содержанием в земной коре может быть использована для прогнозной оценки запасов не только земной коры в целом, но и ее отдельных представительных участков по отдельно взятому государству, рудным провинциям и отдельным рудным формациям, а также с учетом генетических связей по дифференциации химических элементов в зависимости от дифференциатов.

Скорость химических реакций, способствующих и создающих рудообразующий процесс, чрезвычайно мала и сопоставима с длительностью ведущего геологического процесса и отдельных его стадий, и этапов. Отсюда следует, что в историческом масштабе ожидание сбора и мобилизации металлов для переноса рудного вещества в области рудоотложений в истори-

ческом отрезке времени бесполезно, т.е. не приходится говорить о восполнении запасов в результате процесса природного рудообразования в традиционные месторождения [7].

Расчеты по формированию минерально-сырьевой базы на фоне истощения традиционных запасов полезных ископаемых проведены на основании исходных данных:

Исходные данные для расчетов:

- средний радиус Земли $R = 6371,032$ км;
- объем шара Земля на поверхности $V_1 = 4/3\pi R^3 = 4/3\pi \times 6371,032^3 = 1,083 \times 10^{12}$ км³;
- глубина распространения континентальной части земной коры составляет в среднем 33 км;
- объем части шара Земля с радиусом, уменьшенным на 33 км, $V_2 = 4/3\pi(6371,032 - 33)^3 = 1,0666 \times 10^{12}$ км³;
- объем шарового слоя между поверхностью Земли и нижней поверхностью земной коры континентальной части $V_3 = 1,083 \times 10^{12} - 1,0666 \times 10^{12} = 16,3838 \times 10^9$ км³;
- континентальная кора K_k от общей площади поверхности земного шара составляет $148,1/509,1 = 0,2909$ и объем континентальной коры в шаровом слое высотой 33 км тогда составит $V_4 = K_k \times V_3 = 4,766 \times 10^9$ км³;
- коэффициент использования человеческой цивилизацией континентальной коры $K_{\text{ИКК}} = 5/33 = 0,15(15)$,

ТАБЛИЦА 3. Накопление химических элементов в зависимости от их кларков (автор А.П. Виноградов), сопоставление его с подтвержденными статистическими запасами и с количеством по кларку в континентальной части земной коры

№ п/п	Химический элемент	Кларк К, %		По Vinogradov, K ₁	По средним значениям других авторов, K ₂	Суммарные мировые запасы химических элементов, млн тонн	Минимальное мышленное содержание С, % (принято Л.Н. Овчинниковым)	Коэффициент концентрации КК = С/К ₁	Суммарное количество химических элементов в континентальной части земной коры, рассчитанное авторами, млрд. тонн, на глубину H _{глуб} = 5 км	30% от количества по минимальному промышленному содержанию Л.Н. Овчинникова
		По Vinogradov, K ₁	По средним значениям других авторов, K ₂							
Сидерофильно-халькофильная группа										
1	Железо (Fe)	4,65	5,33	3,75×10 ⁵	0,84×10 ⁵	22,0	4,73	90,675×10 ⁶	5,75×10 ⁶	
2	Титан (Ti)	0,45	0,53	4,86×10 ²	9,40×10 ²	7,0	16	8,775×10 ⁶	164,5×10 ³	
3	Марганец (Mn)	0,10	0,09	7,52×10 ³	5,2×10 ²	5,0	50	1,950×10 ⁶	11,7×10 ³	
4	Барий (Ba)	6,5×10 ⁻²	4,7×10 ⁻²	1,1×10 ²	3,00×10 ²	9,0	138	1,267×10 ⁶	2,755×10 ³	
5	Сера (S)	3,7×10 ⁻²	3,3×10 ⁻²	2,1×10 ³	—	7,0	189	721,5×10 ³	1,145×10 ³	
6	Ванадий (V)	9,1×10 ⁻³	1,2×10 ⁻³	22,0	—	0,7	77	177,45×10 ³	0,69×10 ³	
7	Хром (Cr)	8,3×10 ⁻³	9,3×10 ⁻³	1,369×10 ³	1,6×10 ³	7,0	843	161,85×10 ³	57,6	
8	Цинк (Zn)	8,3×10 ⁻³	6,8×10 ⁻³	2,01×10 ²	2,62×10 ²	0,7	84	161,85×10 ³	578	
9	Никель (Ni)	5,8×10 ⁻³	7,0×10 ⁻³	54,4	75,9	0,1	17	114,1×10 ³	1,996×10 ³	
10	Медь (Cu)	4,7×10 ⁻³	5,3×10 ⁻³	3,42×10 ²	8,3×10 ²	0,2	43	91,65×10 ³	0,639×10 ³	
11	Кобальт (Co)	1,8×10 ⁻³	2,3×10 ⁻³	3,24	7,5	2,0×10 ⁻²	11	35×10 ³	0,95×10 ³	
12	Свинец (Pb)	1,6×10 ⁻³	1,3×10 ⁻³	1,07×10 ²	1,17×10 ²	0,3	188	31,2×10 ³	0,05×10 ³	
13	Олово (Sn)	2,5×10 ⁻⁴	2,3×10 ⁻⁴	17,0	5,5	0,1	400	4,875×10 ³	3,656	
14	Молибден (Mo)	1,1×10 ⁻⁴	1,2×10 ⁻⁴	5,46	15,0	5,0×10 ⁻³	46	2,145×10 ³	13,99	
15	Сурьма (Sb)	5,0×10 ⁻⁵	3,0×10 ⁻⁵	2,1	1,5	0,2	4000	975	0,073	
16	Висмут (Bi)	9,0×10 ⁻⁶	1,9×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻²	—	1,0×10 ⁻³	111	175,5	0,474	
17	Ртуть (Hg)	8,3×10 ⁻⁶	7,2×10 ⁻⁶	0,8	—	5,0×10 ⁻²	6024	161,85	0,008	
18	Серебро (Ag)	7,0×10 ⁻⁶	7,3×10 ⁻⁶	0,46	0,84	1,6×10 ⁻³	228	136,5	0,179	
19	Палладий (Pd)	1,3×10 ⁻⁶	9,0×10 ⁻⁷	8,0×10 ⁻⁴	0,076	2,0×10 ⁻⁴	194	25,39	0,0495	
20	Платина (Pt)	7,0×10 ⁻⁷	5,7×10 ⁻⁷	8,0×10 ⁻⁴	—	2,0×10 ⁻⁴	585	13,69	0,0144	
21	Золото (Au)	4,3×10 ⁻⁷	3,5×10 ⁻⁷	0,14	0,058	1,0×10 ⁻⁴	233	8,385	0,0108	
22	Рений (Re)	7,0×10 ⁻⁸	8,0×10 ⁻⁸	4,0×10 ⁻³	—	5,0×10 ⁻⁵	714	1,365	0,00057	
Литофильная группа										
23	Алюминий (Al)	8,05	8,07	8,14×10 ³	14,7×10 ³	17,0	2	15,697×10 ⁷	2,35×10 ⁷	
24	Калий (K)	2,5	2,13	5,5×10 ⁴	6,56×10 ⁴	2,5	1	4,875×10 ⁷	1,46×10 ⁷	
25	Фосфор (P)	9,3×10 ⁻²	0,1	6,7×10 ³	11,13×10 ³	1,3	14,0	18,135×10 ⁵	38,86×10 ³	
26	Фтор (F)	6,6×10 ⁻²	6,4×10 ⁻²	1,126×10 ²	1,09×10 ²	6,9	105	259,65×10 ³	0,742×10 ³	
27	Циркон (Zr)	1,7×10 ⁻²	1,6×10 ⁻²	32,0	—	2,0	118	33,15×10 ³	84,2	
28	Литий (Li)	3,2×10 ⁻³	2,5×10 ⁻³	8,25	18,79	0,33	103	62,4×10 ³	0,182×10 ³	
29	Нобий (Nb)	2,0×10 ⁻³	2,1×10 ⁻³	19,82	4,3	0,14	70	39,0×10 ³	0,167×10 ³	
30	Торий (Th)	1,3×10 ⁻³	1,0×10 ⁻³	1,12	—	0,09	69	25,3×10 ³	0,110×10 ³	
31	Бор (B)	1,2×10 ⁻³	9,0×10 ⁻⁴	54,0	—	0,16	133	23,4×10 ³	0,053×10 ³	
32	Бериллий (Be)	3,8×10 ⁻⁴	2,0×10 ⁻⁴	0,243	—	7,0×10 ⁻³	18	7,41×10 ³	0,1235×10 ³	
33	Цезий (Cs)	3,8×10 ⁻⁴	4,3×10 ⁻⁴	0,230	—	0,1	270	7,41×10 ³	8,23	
34	Тантал (Ta)	2,5×10 ⁻⁴	2,2×10 ⁻⁴	0,52	1,5×10 ²	6,5×10 ⁻³	32	4,875×10 ³	45,7	
35	Уран (U)	2,5×10 ⁻⁴	2,6×10 ⁻⁴	2,65	7,33	2,0×10 ⁻²	80	4,875×10 ³	18,28	
36	Германий (Ge)	1,4×10 ⁻⁴	1,4×10 ⁻⁴	0,1	—	1,0×10 ⁻³	7	2,73×10 ³	95,5	
37	Вольфрам (W)	1,3×10 ⁻⁴	1,4×10 ⁻⁴	1,36	3,3	6,0×10 ⁻²	444	2,535×10 ³	1,713	
38	Гафний (Hf)	1,0×10 ⁻⁴	2,4×10 ⁻⁴	0,318	—	3,0×10 ⁻²	300	1,95×10 ³	1,95	
39	Индий (In)	2,5×10 ⁻⁵	4,7×10 ⁻⁵	1,4×10 ⁻²	—	1,0×10 ⁻³	40	487,5	3,656	

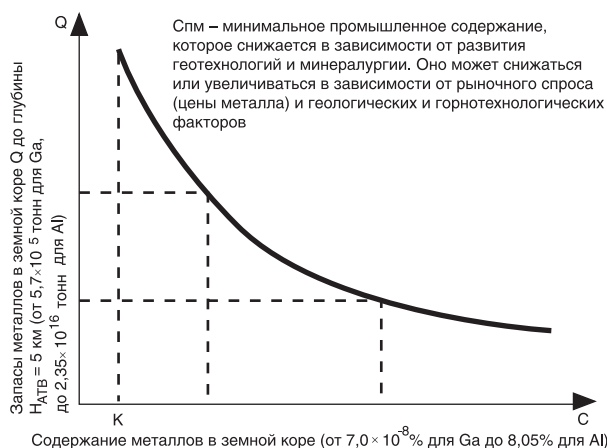


Рис. 1.

Зависимость количества металлов в земной коре от их содержания (K – кларк металла, %; Спм – минимальное промышленное содержание, %)

где 5 км – высота континентальной коры от поверхности, которая определяется антропогенно-технической возможностью освоения недр;

– объем континентальной коры, возможный для использования в качестве объекта для геолого-разведочных работ и добычи полезных ископаемых $V = 4,766 \times 10^9 \times 0,15(15) = 0,722 \times 10^9 \text{ км}^3$;

– объемный вес γ пород земной коры в континентальной части составляет в среднем $2,7 \times 10^9 \text{ т/км}^3$;

– масса породы континентальной части земной коры, которая теоретически может быть добыта с целью получения из нее минерального сырья (или в которой может быть определена через средний кларк химического элемента его содержание в той части земной коры, которая в соответствии с антропогенно-технической возможностью может быть использована в качестве минерального сырья): $Q = \gamma \times V = 2,7 \times 10^9 \times 0,722 \times 10^9 = 1,95 \times 10^9 \text{ млрд тонн}$.

Следующим шагом в нашей работе является расчет количества химических элементов в зависимости от кларка в континентальной части Земли до глубины от поверхности 5 км, которая определена антропогенно-техническими возможностями человека $H_{\text{АТВ}}$.

Расчет количества химического элемента в соответствии с его кларком и сравнение его с подтвержденными запасами полезных ископаемых в пересчете через минимальное промышленное содержание покажет, как человечество должно использовать имеющуюся разницу между количеством по кларку и уже подтвержденными запасами, до какого предела можно снижать минимальное промышленное содержание, какие новые технологии следует создавать и в отношении каких химических элементов.

На этом же этапе можно ясно представить назревающие кризисные ситуации в связи с потребностью

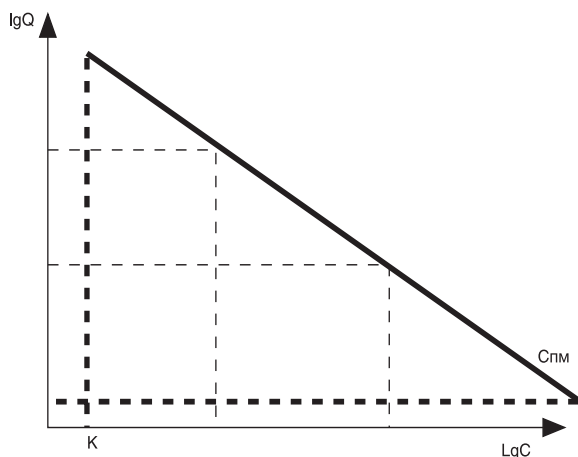


Рис. 2.

Соотношение между средними запасами металлов в земной коре до глубины $H_{\text{АТВ}} = 5 \text{ км}$ Q и средним содержанием металлов С

мирового рынка и имеющимися запасами, определить первоочередные действия по поискам и разведке, в т.ч. по традиционным направлениям понятий о месторождениях и по новой трактовке, которые определяет сущность определения месторождений нового типа.

Руководствуясь сказанным и используя зависимость накопления химических элементов в рудных месторождениях, мы определяем ожидаемые количества химических элементов в континентальной коре в слое от поверхности до глубины 5 км (табл. 3) и получаем корректные данные о состоянии сырьевой базы металлов (табл. 4).

Но для реальной оценки количества этих элементов следует учитывать следующие ограничения. Далеко не вся территория континентальной части Земли может быть использована в качестве объекта добычи полезных ископаемых, даже, если их количество и качество позволят экономически оправданно их добывать и перерабатывать:

Из недропользования будет исключаться территория, занятая высокогорьем и другими рельефными ограничениями.

Из недропользования будут на исторически длительный период изыматься территории вдоль инфраструктуры, населенных пунктов, естественных ограничений (реки, озера, побережье морей и океанов и т.д.).

Как уже сказано, объем учитываемого в балансе как полезное ископаемое химического(их) элемента(ов) будет зависеть от принятого рентабельного уровня минимального промышленного содержания. Оно будет зависеть от создания работоспособных новых технологий добычи (можно в будущем сказать «изъятия в растворе без нарушения целостности массива») и переработки, а также использования как полезного сы-

ТАБЛИЦА 4.

Предполагаемые максимальные и минимальные суммарные мировые запасы химических элементов в рудных месторождениях (по эмпирической формуле акад. Л.Н. Овчинникова)

№№ п/п	Химические элементы	Кларк К, %	Максимальные суммарные мировые запасы в рудных месторождениях, Q_{\max} , млн тонн	Минимальные суммарные мировые запасы в рудных месторождениях, Q_{\min} , млн тонн
1	Железо (Fe)	4,65	$455,7 \times 10^3 +$	$195,3 \times 10^3$
2	Титан (Ti)	0,45	$4,41 \times 10^3 -$	$18,9 \times 10^3$
3	Марганец (Mn)	0,10	$9,8 \times 10^3 +$	$4,2 \times 10^3$
4	Барий (Ba)	$6,5 \times 10^{-2}$	$6,37 \times 10^3 +$	$2,73 \times 10^3$
5	Сера (S)	$3,7 \times 10^{-2}$	$3,626 \times 10^3 +$	$1,554 \times 10^3$
6	Ванадий (V)	$9,1 \times 10^{-3}$	$0,8918 \times 10^3 +$	$0,3822 \times 10^3$
7	Хром (Cr)	$8,3 \times 10^{-3}$	$0,8134 \times 10^3 -$	$0,3486 \times 10^3$
8	Цинк (Zn)	$8,3 \times 10^{-3}$	$0,8134 \times 10^3 +$	$0,3486 \times 10^3$
9	Никель (Ni)	$5,8 \times 10^{-3}$	$0,5684 \times 10^3 +$	$0,2436 \times 10^3$
10	Медь (Cu)	$4,7 \times 10^{-3}$	$0,4606 \times 10^3 +$	$0,1974 \times 10^3$
11	Кобальт (Co)	$1,8 \times 10^{-3}$	$0,1764 \times 10^3 +$	$0,0756 \times 10^3$
12	Свинец (Pb)	$1,6 \times 10^{-3}$	$0,1568 \times 10^3 =$	$0,0672 \times 10^3$
13	Олово (Sn)	$2,5 \times 10^{-4}$	24,5 +	10,5
14	Молибден (Mo)	$1,1 \times 10^{-4}$	10,78 +	4,62
15	Сурьма (Sb)	$5,0 \times 10^{-5}$	4,9 +	2,1
16	Висмут (Bi)	$9,0 \times 10^{-6}$	0,882 +	0,378
17	Ртуть (Hg)	$8,3 \times 10^{-6}$	0,8134 =	0,3486
18	Серебро (Ag)	$7,0 \times 10^{-6}$	0,686 +	0,294
19	Палладий (Pd)	$1,3 \times 10^{-6}$	0,1274 +	0,0546
20	Платина (Pt)	$7,0 \times 10^{-7}$	0,0686 +	0,0294
21	Золото (Au)	$4,3 \times 10^{-7}$	0,04214 -	0,01806
22	Рений (Re)	$7,0 \times 10^{-8}$	0,00686 +	0,00294
23	Алюминий (Al)	8,05	$788,9 \times 10^3 +$	$338,1 \times 10^3$
24	Калий (K)	2,5	$245 \times 10^3 +$	105×10^3
25	Фосфор (P)	$9,3 \times 10^{-2}$	$9,114 \times 10^3 +$	$3,906 \times 10^3$
26	Фтор (F)	$6,6 \times 10^{-2}$	$6,468 \times 10^3 +$	$2,772 \times 10^3$
27	Циркон (Zr)	$1,7 \times 10^{-2}$	$1,666 \times 10^3 +$	$0,714 \times 10^3$
28	Литий (Li)	$3,2 \times 10^{-3}$	$0,3136 \times 10^3 +$	$0,1344 \times 10^3$
29	Ниобий (Nb)	$2,0 \times 10^{-3}$	$0,196 \times 10^3 +$	$0,084 \times 10^3$
30	Торий (Th)	$1,3 \times 10^{-3}$	$0,1274 \times 10^3 +$	$0,0546 \times 10^3$
31	Бор (B)	$1,2 \times 10^{-3}$	$0,1176 \times 10^3 +$	$0,0504 \times 10^3$
32	Бериллий (Be)	$3,8 \times 10^{-4}$	37,24 +	15,96
33	Цезий (Cs)	$3,8 \times 10^{-4}$	37,24 +	15,96
34	Тантал (Ta)	$2,5 \times 10^{-4}$	24,5 +	10,5
35	Уран (U)	$2,5 \times 10^{-4}$	24,5 +	10,5
36	Германий (Ge)	$1,4 \times 10^{-4}$	13,72 +	5,88
37	Вольфрам (W)	$1,3 \times 10^{-4}$	12,74 +	5,46
38	Гафний (Hf)	$1,0 \times 10^{-4}$	9,8 +	4,2
39	Индий (In)	$2,5 \times 10^{-5}$	2,45 +	1,05

ТАБЛИЦА 5.

Обеспеченность человечества важнейшими востребованными полезными ископаемыми (по оценке авторов)

№№ п/п	Химический элемент	Предполагаемое количество химических элементов в континентальной части земной коры на глубину НАТВ = 5 км (30% от количества по минимальному промышленному содержанию, принятому акад. Л.Н. Овчинниковым), млрд тонн	Прогнозируемая добыча на 2050 г. из недр с учетом всех видов потерь до получения готового товарного продукта, млн тонн	Обеспеченность предполагаемым количеством химических элементов в континентальной части земной коры, лет
1	Железо (Fe)	5,75×10 ⁶	10×10 ³	575000
2	Титан (Ti)	164,5×10 ³	20	8,225×10 ⁶
3	Марганец (Mn)	11,7×10 ³	40	292500
4	Барий (Ba)	2,755×10 ³	–	–
5	Сера (S)	1,145×10 ³	–	–
6	Ванадий (V)	0,69×10 ³	–	–
7	Хром (Cr)	57,6	70	823
8	Цинк (Zn)	578	40	14450
9	Никель (Ni)	1,996×10 ³	10	499600
10	Медь (Cu)	0,639×10 ³	90	7100
11	Кобальт (Co)	0,95×10 ³	0,5	1,9×10 ⁶
12	Свинец (Pb)	0,05×10 ³	12	4167
13	Олово (Sn)	3,656	2	1828
14	Молибден (Mo)	13,99	0,6	23317
15	Сурьма (Sb)	0,073	0,4	182,5
16	Висмут (Bi)	0,474	–	–
17	Ртуть (Hg)	0,008	–	–
18	Серебро (Ag)	0,179	0,06	2983
19	Палладий (Pd)	0,0495	0,00045	110000
20	Платина (Pt)	0,0144	0,0006	24000
21	Золото (Au)	0,0108	0,006	1800
22	Рений (Re)	0,00057	0,01	57
23	Алюминий (Al)	2,35×10 ⁷	0,250	94×10 ⁶
24	Калий (K)	1,46×10 ⁷	1	14,6×10 ⁶
25	Фосфор (P)	38,86×10 ³	0,3	129000
26	Фтор (F)	0,742×10 ³	0,02	37100
27	Цирконий (Zr)	84,2	–	–
28	Литий (Li)	0,182×10 ³	0,1	1,82×10 ⁶
29	Ниобий (Nb)	0,167×10 ³	–	–
30	Торий (Th)	0,11×10 ³	–	–
31	Бор (B)	0,053×10 ³	–	–
32	Бериллий (Be)	0,1235×10 ³	–	–
33	Цезий (Cs)	8,23	–	–
34	Тантал (Ta)	45,7	–	–
35	Уран (U)	18,28	0,1	182800
36	Германий (Ge)	95,5	–	–
37	Вольфрам (W)	1,713	0,5	3426
38	Гафний (Hf)	1,95	–	–
39	Индий (In)	3,656	–	–

Примечания:

1. Из таблицы 5 видно, что, используя закономерность распределения металлов по прямой пропорциональности, которая определяется степенью распространенности (кларком) каждого из них в земной коре, можно определить новое направление развития горнометаллургической отрасли.
2. Из столбца 3 видно, что минимальное промышленное содержание и обеспеченность сырьевой базой металлов взаимосвязаны в прямой пропорциональности.

рья всей добытой массы с разделением ее на компоненты, что позволит снизить резко себестоимость добычи за счет полной валовой выемки и полной безотходной переработки. Этот факт будет ограничивать использование запасов континентальной коры и устанавливать очередность ввода в эксплуатацию в зависимости от технико-экономических возможностей (табл. 5).

Исходя из этого условия, объектом недропользования будут участки первичных и вторичных ореолов по формам миграции и отложения химических элементов в латеральной (субгоризонтальной) зональности, в зональности околорудного изменения пород в гидротермальных системах, в широтной геохимической зоне на земной поверхности и в вертикальной зональности, связанной с изменением химического состава и свойств в субвертикальном направлении, характерной для рудных жил, коры выветривания.

Отдельно следует учитывать и использовать понятия о техногенных геохимических аномалиях, техногенных ореолах рассеяния, техногенных барьерах, а также модель техногенной миграции, связанную с техногенными ландшафтами и геохимией городов.

Таким образом, ресурсы металлов в месторождениях нового типа, которые человечество должно определять в континентальной земной коре в связи с полным исчерпанием их запасов в традиционных месторождениях полезных ископаемых в соответствии с общепринятой ныне трактовкой, будут слагаться определением объектов недропользования из практического использования закономерности зависимости накоплений химических элементов природного и техногенного характера.

При этом предел содержаний химических элементов в горной массе минерального сырья, учитываемой как запасы нового типа, будет определяться технико-экономическими расчетами конечной совокупной эффективности затрат на поиски, определение количественно-качественных характеристик, добычи и переработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **БЕЖАНОВА М.П., СТРУГОВА А.И.** Научно-информационный справочник: Ресурсы, запасы, добыча, потребление и цены важнейших полезных ископаемых мира. М.: ОАО «ВНИИЗарубежгеология» и ООО «Минеральные ресурсы мира», 2019. 160 с.
2. **БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С., ПАРИЛОВ Ю.С.** Роль и значение кларков химических элементов в расширенном воспроизводстве запасов минерального сырья. Доклад на 5 Конференции Международной научной школы акад. РАН Трубецкого К.Н. «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. М.: Отделение наук о Земле РАН, ИПКОН им. акад. Н.В. Мельникова РАН, 14–18 ноября 2022 г. С. 21–24.

3. Минерально-сырьевые ресурсы Казахстана. Справочник. Астана: Республиканский Центр геологической информации (РЦГИ) «КазGeoИнформ», 2020. 113 с.
4. **ОВЧИННИКОВ Л.Н.** Образование рудных месторождений. М.: Недра, 1988. С. 17–39, 236–252.
5. **ОВЧИННИКОВ Л.Н.** Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. С. 28–69, 103–110, 223–228.
6. **ПЕРЕЛЬМАН А.И.** Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов. 2-ое изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1989. С. 6–38, 54–71, 379–398, 458–472.
7. **СМИРНОВ В.И.** Геология полезных ископаемых. 4-ое изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. С. 6–10, 83–117.
8. **ТРУБЕЦКОЙ К.Н., МАЛЫШЕВ Ю.А., ПУЧКОВ Л.А., ЧАПЛЫГИН Н.Н., МАКСИМОВА Е.П. И ДР.** Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. М.: Изд-во горных наук. 1997. С. 37–73.

REFERENCES

1. **BEZHANOVA M.P., STRUGOVA L.I.** Scientific Information Guide: Resources, reserves, production, consumption and prices of the world's most important minerals. Moscow: JSC "VNIIZarubezhGeologia" and LLC "Mineral Resources of the World", 2019:160. (In Russian).
2. **BITIMBAEV M.ZH., KUNAIEV M.S., PARILOV YU.S.** The role and importance of clarks of chemical elements in the expanded reproduction of mineral resources. Report at the 5th Conference of the International Scientific School acad. RAS Trubetsky K.N. "Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior. M.: Department of Earth Sciences RAS, IPKON im. acad. N.V. Melnikova RAS, November 14–18, 2022:21–24. (In Russian).
3. Mineral resources of Kazakhstan. Directory. Astana: Republican Center for Geological Information (RCGI) "KazGeoInform". 2020:113. (In Russian).
4. **OVCHINNIKOV L.N.** Formation of ore deposits. Moscow: Nedra, 1988:17–39, 236–252. (In Russian).
5. **OVCHINNIKOV L.N.** Applied geochemistry. Moscow: Nedra, 1990:28–69, 103–110, 223–228. (In Russian).
6. **PERELMAN A.I.** Geochemistry: Proc. for geol. specialist. universities. 2nd ed., revised. and additional Moscow: Vysshaya shkola, 1989:6–38, 54–71, 379–398, 458–472. (In Russian).
7. **SMIRNOV V.I.** Geology of minerals. 4th ed., revised. and additional. Moscow: Nedra, 1982:6–10, 83–117. (In Russian).
8. **TRUBETSKOY K.N., MALYSHEV YU.A., PUCHKOV L.A., CHAPLYGIN N.N., MAKSIMOVA E.P. ET AL.** Mining sciences. Development and conservation of the bowels of the Earth. Moscow: Publishing House of Mining Sciences. 1997:37–73. (In Russian).

Битимбаев Марат Жакупович,

д.т.н., профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, академик Международной инженерной академии, академик Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан, главный редактор «Горного журнала Казахстана»

☞ 050010, Респ. Казахстан, г. Алматы,
ул. Богенбай батыра,
050010, Rep. Kazakhstan, Almaty, st. bogenbai batyr, d. 80,
тел.: +7 (701) 744-95-08, mbitimbayev@mail.ru

Кунаев Миргали Сапаргалиевич,

д.г.-м.н., председатель Совета Директоров «Caspian Services Inc»

☞ 050010, Респ. Казахстан, Алматы, ул. Азербайева, д. 134
050010, Rep. Kazakhstan, Almaty, 134, Azerbayeva Street

Алишева Жанат Нуркуатовна,

доктор PhD, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

☞ 050038, Респ. Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби,
д. 71,
050038, Rep. Kazakhstan, Almaty, al-Farabi Ave., 71
тел.: +7 (777) 383-89-86, e-mail: zhannat_86.2007@mail.ru