



Периодический закон Д. И. Менделеева, космогеохимическая система Ю. Г. Щербакова и перспективы развития минералого-геохимических исследований

А. В. Кокин¹, В. И. Силаев², М. А. Кокин³, А. Ф. Хазов²

¹Южно-Российский институт управления Российской академии народного хозяйства при Президенте РФ, Ростов-на-Дону, Россия; alex@avkokin.ru

²Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

³Даремский университет, Дарем, Великобритания; mathew.Kokin@gmail.com

Проанализированы открытый замечательным российским геохимиком Ю. Г. Щербаковым закон космогеохимической дифференциации и сформулированная на его основе геохимическая классификация элементов в масштабе Периодической системы Д. И. Менделеева. На основании новых результатов исследований показано, что в земных геологических и биологических объектах достаточно отчетливо сохраняются признаки фундаментального космического кода распределения химических элементов.

Ключевые слова: Ю. Г. Щербаков, закон космогеохимической дифференциации элементов, открытие сульфидно-индиево-марганцевого месторождения.

D. I. Mendeleev's Yu. periodic law, G. Shcherbakov's cosmogeochemical system and prospects for the development of mineralogical and geochemical investigations

A. V. Kokin¹, V. I. Silaev², M. A. Kokin³, A. F. Khazov²

¹South-Russian Institute of Management of the Russian Presidential Academy of National Economy, Rostov-on-Don, Russia; alex@avkokin.ru,

²Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Syktyvkar, Russia; silaev@geo.komisc.ru, akhazov@geo.komisc.ru

³Durham University, Durham, UK; mathew.kokin@gmail.com

The law of cosmogeochemical differentiation discovered by the remarkable Russian geochemist Yu. G. Shcherbakov and the geochemical classification of elements formulated on its basis on the scale of the Periodic system of D. I. Mendeleev are analyzed. Based on new research results, it is shown that signs of the fundamental cosmic distribution code of chemical elements are quite clearly preserved in terrestrial geological and biological objects.

Keywords: Yu. G. Shcherbakov, law of cosmogeochemical differentiation of elements, discovery of sulfide-indium-manganese deposit.

*Давным-давно окончен бой,
Руками всех друзей
Положен парень в шар земной
Как будто в мавзолей.*

С. Орлов, воин и русский поэт

дений, но и стимулирование прогресса в области создания новых научных и научно-экспериментальных технологий. Замечательной иллюстрацией последнего может служить разработка Юрием Гавриловичем Щербаковым современного варианта теории космогеохимической дифференциации, уже широко востребованной специалистами в области геолого-минералогических наук.

На протяжении всей своей научной деятельности Ю. Г. Щербаков в продолжение классических идей В. М. Гольдшмидта, Ф. Кларка, А. Ферсмана, К. Турекяна (Goldschmidt, 1934; Goldschmidt, 1954; Clarke, 1924; Ферсман, 1955; Turekian, Wedephol, 1961) искал фундаментальные связи между свойствами элементов, определяемыми Периодическим законом Д. И. Менделеева, и закономерностями пространственного распределения элементов в геологической истории, что позволяло бы научно-обоснованно осуществлять про-

Введение

Есть различные способы движения научной мысли к познанию естественных законов эволюции сложнейших природных систем, какими являются минеральные и геохимические. Один из этих способов — исследование проявлений фундаментальных законов минералообразования в различных геологических обстановках. Результатом таких исследований являются не только совершенствование знаний о рудообразовании, методов поиска и утилизации рудных месторож-

Для цитирования: Кокин А. В., Силаев В. И., Кокин М. А., Хазов А. Ф. Периодический закон Д. И. Менделеева, космогеохимическая система Ю. Г. Щербакова и перспективы развития минералого-геохимических исследований // Вестник геонаук. 2023. 6(342). С. 29–36. DOI: 10.19110/geov.2023.6.4

For citation: Kokin A. V., Silaev V. I., Kokin M. A., Khazov A. F. D. I. Mendeleev's Yu. periodic law, G. Shcherbakov's cosmogeochemical system and prospects for the development of mineralogical and geochemical investigations Vestnik of Geosciences, 2023, 6(342), pp. 29–36, doi: 10.19110/geov.2023.6.4

гнозы, поиски и разведки рудных месторождений. Следует подчеркнуть, что, как это случается с такого рода людьми, Юрий Гаврилович был одаренным многообразно, в частности занимался живописью и талантливый сочинительством (рис. 1).



Рис. 1. Автобиографическая книга и автопортрет (Щербаков, 2005)*

Fig. 1. Autobiographical book and self-portrait (Shcherbakov, 2005)

Закон космогеохимической дифференциации

В результате исследований Ю. Г. Щербаковым была открыта фундаментальная закономерность геохимической эволюции Земли с образованием земной коры в ходе деплетирования первичной метеоритоподобной мантии, состав которой был реконструирован еще В. Масоном (Mason, 1962). В качестве геохимической базы Ю. Г. Щербаков использовал систему кларков, рассчитанных А. П. Виноградовым (Виноградов, 1962). Проведенный анализ показал, что по характеру и степени участия в глобальной дифференциации химические элементы образуют четыре группы: 1) центростремительных элементов, преимущественно сохраняющихся в мантии; 2) минимально-центробежных элементов, незначительно участвующих в процессах мантийно-корового разделения вещества; 3) дефицитно-центробежных, более склонных к миграции; 4) центробежных, наиболее подвижных и вследствие этого концентрирующихся в земной коре (Щербаков, 1969; 1976). В итоге оказалось, что выявленное геохимическое разделение элементов замечательно скоррелировалось именно с химическими (менделеевскими) свойствами элементов, что было подме-

* Кроме всего прочего Ю. Г. Щербаков пережил оккупацию гитлеровцами своего родного города — Ростова-на-Дону. в 1942 г. 15-летнего мальчика Юру включили в число заложников, отобранных для расстрела за ликвидацию подпольщиками немецко-фашистского офицера. Чудом остался жив. в 1951 г. окончил учебу в Ростовском госуниверситете, работал в Западной Сибири старшим геологом, начальником геолого-съёмочных партий, техническим руководителем поисково-разведочной экспедиции. С 1958 г. до кончины трудился в Институте геологии и геофизики СО АН СССР и РАН.

чено еще Виктором Морицом Гольдшмидтом, который подразделял элементы на сидерофильные (аналог щербаковских центростремительных), халькофильных (минимально-центробежных) и литофильных (дефицитно-центробежных и центробежных). На основе выявленной закономерности Ю. Г. Щербаков разработал систему оценок степени геохимической дифференцированности магматических, гидротермально-метасоматических пород и оруденений, по которой можно судить и о глубинности первоисточников вещества, и о протяженности путей миграции, и о так называемой металлогенической специализации по Ю. А. Билибину (Щербаков, 1965; 1974; Золото ..., 1976; Геохимия рудообразующих систем, 1989). Тем самым создавались предпосылки к суждениям не только об эндогенной рудоносности, но и о геохимической связи магм с вмещающей матрицей осадочных и метаморфических пород, т. е. средой, в которой реализуется магматогенное рудообразование. При этом отклонения концентраций элементов в рудах от геохимически ожидаемого, например смещение относительных концентраций из области центростремительных в область центробежных элементов, Ю. Г. Щербаков связывал именно с влиянием окружающих рудообразующие магматиты осадочных пород. Это очень близко согласовалось с результатами наших исследований в рудных провинциях Южного Верхоянья в Якутии. Оказалось, что пространственная связь масштабных концентраций золота с кислым магматизмом в этом регионе обычно наблюдается там, где в составе вмещающих черносланцевых толщ позднего карбона и ранней перми содержания золота превышали кларк земной коры в 2.5—12 раз (с учётом аномальных концентраций золота в составе пирита-марказита, присутствующего в этих толщах). Ю. Г. Щербаков об этом сообщал следующее: «...любые излишки элементов против эвтектических соотношений специфичным для каждого уровня температур и давлений способом стремятся покинуть расплав. Поэтому развитие, например, гранитоидного очага за счёт субстрата с несколько больше, чем 1—2 мг/т, содержаниями золота приводит к избыточности этого металла в магме» (Щербаков, 1974). Другими словами, чтобы процесс рудообразования реализовался, необходимо наличие существенных градиентов концентрации элементов на границах магматитов и вмещающих осадочных комплексов. В противном случае рудообразование либо не происходит, либо ведёт к образованию незначительных рудных концентраций.

По щербаковской версии, глобальная геохимическая дифференциация реализуется, с одной стороны, в глобальном масштабе — в виде минералого-геохимической зональности земных оболочек, а с другой — в более локальных масштабах — рудных узлов, рудных полей, отдельных месторождений (Силаев, 1982, 1987). Кроме того, эта дифференциация согласуется с Периодическим законом изменения химических свойств элементов по Д. И. Менделееву. То есть выявленные Ю. Г. Щербаковым геохимические закономерности оказались прежде всего трансляцией на геологическую природу фундаментальных свойств химических элементов.

Как показала практика геохимических исследований в районе юго-восточного обрамления Сибирской платформы (Юго-Восточная Якутия), распределение



Таблица 1. Временная циклично-зональная последовательность локализации точек минерализации, проявлений, месторождений в структурах юго-восточного обрамления Сибирской платформы

Table 1. Temporal cyclic-zonal sequence of localization of mineralization points, manifestations, deposits in the structures of the southeastern framing of the Siberian Platform

Проявления и месторождения, локализованные на различных стратопорядках земной коры Occurrences and deposits localized at different stratal levels of the earth's crust					
Fe, Au + Cu, Zn, Pb	Pb, Zn+Ge	Fe, Au + Cu	As, Au + Ag	Zn, Pb + Au, Bi, Te + Ag, Sb	Cu, W + Au, Sb + Hg
рифей Riphean	венд Vendian	девон Devonian	поздний карбон— пермь / Late Carboniferous — Permian	пермь Permian	триас Triassic
Кыллахский выступ / Kyllakh ledge			Южно-Верхоянский синклинорий South Verkhoyansk synclinorium		
Сетте-Дабанский антиклинорий Sette-Daban Anticlinorium			Сартангский синклинорий Sartang synclinorium		

химических элементов в разрезе земной коры мощностью свыше 30 км — от рифея до мела — не только согласовалось с принципами глобальной геохимической дифференциации по Ю. Г. Щербакову, но и выразилось в геохимически закономерном пространственном распределении конкретных рудных минерализаций и оруденений (табл. 1).

Прикладной аспект закона космогеохимической дифференциации

Идеи Ю. Г. Щербакова были с энтузиазмом восприняты прежде всего геологами-практиками, поскольку в этих идеях просматривалась перспектива полезной ревизии оценок рудных объектов на новой научной основе (Кокин, 2005; 2009), а не только на основе геологических факторов (Рундквист, Неженский, 1975) и статистических расчетов (Барсуков и др., 1981). Значительную роль в новых прогнозах, поисках и оценках рудоносности стали играть фундаментальные химические закономерности, как это уже случилось, например, в прикладной химии (Stoker, 2007; Kotz et al., 2009; Myers, 2003).

В конце 1980-х годов якутские геологи в рамках обмена опытом пригласили Ю. Г. Щербакова в Аллах-Юньскую геолого-разведочную экспедицию ПГО «Якутскгеология» для проведения трёхдневного семинара по практическому использованию его геохимических идей. Помнится, он был в восторге от такого приглашения. Он щедро делился с геологами своими идеями и практическими наработками. Геологи-практики со своей стороны усматривали в нем пример настоящего учёного-подвижника. В 1985 г. первым автором настоящей статьи был составлен проект на минералого-геохимическое картирование масштаба 1:100000 на часть юго-восточной территории Южно-Верхоянской металлогенической провинции в районе хр. Сунтар-Хаята. К этому времени в соответствующей геологической экспедиции были рассчитаны региональные кларки наиболее распространённых химических элементов (Кокин, Кокина, 1986а, 1986б; Кокин, 1988). На упомянутой территории в составе терригенных пород поздней перми, перекрываемых существенно кислым по составу вулканогенно-осадочным комплексом, уже были выявлены сверхкларковые содержания марганца ($KK > 2.5$), а в составе широко распространённых здесь точек с оловополиметаллической

минерализацией постоянно отмечалась микропримесь алабандина.

В результате минералого-геохимического картирования в современных аллювиальных отложениях был обнаружен обломок с массивным крупнокристаллическим алабандином. На основании этой находки первым автором статьи была выдвинута гипотеза о возможности обнаружения в коренном залегании массивных алабандиновых руд в позднепермских породах с надкларковыми содержаниями марганца. Исследование уже оконтуренных участков таких пород, перекрытых вулканитами кислого состава, привели к открытию Высокогорного месторождения в виде серии протяженных массивных алабандиновых жил мощностью до 2 м на площади около 7 км² (Кокин, 2006). Позже в алабандиновых рудах обнаружили высокие концентрации индия, обусловленные множеством индиевых минералов, и Высокогорное месторождение было переаттестовано из сульфидно-марганцевого в беспрецедентное сульфидно-индиево-марганцевое (Кокин и др., 2010; Silaev et al., 2013; Силаев и др., 2023). В массивных алабандиновых рудах средние содержания марганца по отдельным рудным телам составили 57—59 мас. %; олово+свинец+цинк — около 2 мас. %, серебра и индия — по 300 г/т. В отдельных пробах отмечались содержания золота до 4 г/т. В итоге алабандиновые руды Высокогорного месторождения были отнесены к промышленным и комплексным по составу — с сопутным извлечением индия, серебра, олова, свинца, цинка. По результатам предварительной оценки прогнозные ресурсы только марганца на месторождении достигают 3.5 млн т. Разработанная технология его извлечения позволила получить металлический марганец с чистотой 99.99 % (Кокин, 2009).

Таким образом, именно на основе теоретических построений Ю. Г. Щербакова удалось обнаружить уникальное рудное месторождение, способное в значительной степени обеспечить Россию весьма промышленно актуальным металлом — индием. В знак признательности учёному, практически предвосхитившему это открытие, была посвящена монография коллектива авторов (Кокин и др., 2011).

Открытие месторождения оказалось, разумеется, неслучайным, поскольку его авторы исходили из научного предсказания о возможности группировки рудообразующих элементов в соответствии с их фундаментальными химическими и геохимическими свой-

ствами с последующей дифференцированной локализацией на разнообразных геохимических барьерах, в частности на границах осадочных пород и магматитов. В рассматриваемом нами случае химической первопричиной образования алабандиновых руд являются близкие по свойствам переходные металлы — марганец и железо, расположенные в верхнем полупериоде четвёртого периода Периодической системы. Это наделяет упомянутые элементы способностью к формированию принципиально разных по составу минералов и руд в различных геологических условиях и средах. Известно, что марганец в природе проявляет более сильные оксифильные свойства, концентрируясь преимущественно в форме кислородных соединений, и лишь изредка образует сульфиды, в основном как примесь в сульфидах железа (табл. 2). Железо, в отличие от марганца, концентрируется в рудах, как в оксидных, так и сульфидных формах, но при этом весьма контрастно. То есть марганец и железо как переходные элементы проявляют, хотя и в разной степени, но схожим образом, сродство к разным окислителям — кислороду и сере. Однако в силу значительно большего сродства к сере именно железо, как правило сильно преобладающее по концентрации, образует сульфиды, в которых марганец лишь рассеивается, почти не образуя собственных сульфидных минералов. И только в условиях сильного преобладания по концентрации над железом марганец получает возможность массово проявить свои халькофильные свойства. Вот так и образовалось Высокогорное месторождение, на котором значительные содержания сульфидов железа обнаружались только на выклиниваниях алабандиновых жил.

В указанной выше связи значительный интерес на Высокогорном месторождении представляет собой распределение основных металлов-примесей в составе сульфидов железа и марганца (рис. 2). Для разных сульфидов железа здесь выявляется близкая к согласованной периодическая зависимость распределения концентраций металлов в составе большинства сульфидов, повторяя такую зависимость в разной степени геохимически дифференцированных субстратах — метеоритах, лунном грунте и земной коре. Лишь для алабандина эта согласованность несколько нарушается —

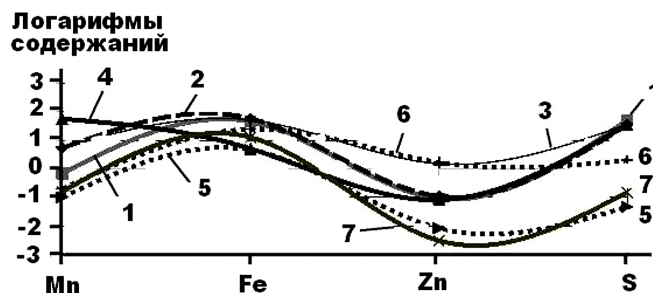


Рис. 2. Характер распределения средних содержаний элементов в составе сульфидов в Высокогорном месторождении и в разной степени геохимически дифференцированных космогеологических субстратах: 1 — пирите, 2 — троилите, 3 — пирротине, 4 — алабандине, 5 — земной коре, 6 — каменных метеоритах, 7 — лунном реголите

Fig. 2. The nature of the distribution of the average contents of elements in the composition of sulfides in the Vysokogornoye deposit and geochemically differentiated cosmogeological substrates to varying degrees: 1 — pyrite, 2 — troilite, 3 — pyrrhotite, 4 — alabandine, 5 — earth's crust, 6 — stony meteorites, 7 — lunar regolith

именно по причине аномально высокого содержания в этом сульфиде марганца.

Таким образом, появление микроколичеств алабандина в составе сульфидных руд месторождений может являться индикатором динамики изменчивости состава рудообразующих растворов в части пропорций между марганцем, железом и серой. Геохимические свойства марганца в ходе изменения состава рудообразующих растворов могут меняться от минимально-центробежных в кислородных условиях до центростремительных в сернистых. В случае значительных концентраций марганец может вставать на место железа.

Анализ показал, что закономерности глобальной геохимической дифференциации, сформулированные Ю. Г. Щербаковым, распространяются не только на горные породы, руды и минералы, но и на другие формы организации вещества, включая организмы и органоминеральные (включая витаминеральные, по Н. П. Юшкину) образования. Примером этого могут служить результаты исследований бактерий (Павлович

Таблица 2. Содержания основных рудообразующих элементов (мас. %) в составе минералов массивных алабандиновых руд в сравнении с кларками земной коры, каменных метеоритов и лунного реголита (Виноградов, 1962)

Table 2. Contents of the main ore-forming elements (wt. %) in the composition of minerals of massive alabandine ores in comparison with clarkes of the earth's crust, stony meteorites and lunar regolith (Vinogradov, 1962), (%)

Элементы Elements	Месторождение Высокогорное Vysokogornoye deposit				Земная кора Earth's crust	Метеориты Meteorites	Лунный грунт Lunar regolith
	пирит Pyrite	троилит Troilite	пирротин Pyrrhotite	алабандин Alabandine			
Mn	0.69	5.44	5.8	58.08	0.1	0.2	0.17
Fe	45.72	59.06	53	5.18	4.65	25	13
Zn	0.08	0.11	1.53	0.09	0.0083	1.7	0.003
S	52.8	35.9	37.6	36.72	0.047	2	0.15

Примечание. Содержания элементов в лунном грунте даны по усреднённым данным образцов, доставленных аппаратами «Аполлон-11», «Аполлон-12» и советским аппаратом «Луна-16».

Note. The contents of elements in the lunar soil are given according to averaged data samples delivered by Apollo 11, Apollo 12 and the Soviet Luna 16.



и др., 2019; Силаев и др., 2021) и конкрементов (Кокин и др., 2020а). Для этих объектов установлено весьма близкое волнообразное распределение микроэлементов, модально совпадающее с космогеохимической классификацией элементов по Ю. Г. Щербакову (рис. 3). Это позволяет сделать вывод о возможной связи образования конкрементов не только с составом потребляемой воды и пищи, как считалось ранее, но и с деятельностью бактерий. Более того, выявляющаяся в микроорганизмах и биоконкрементах закономерность распределения микроэлементов вполне наглядно коррелируется с закономерностью распределения тех же элементов в космогеологических неорганических субстратах (рис. 4). Последнее может свидетельство-

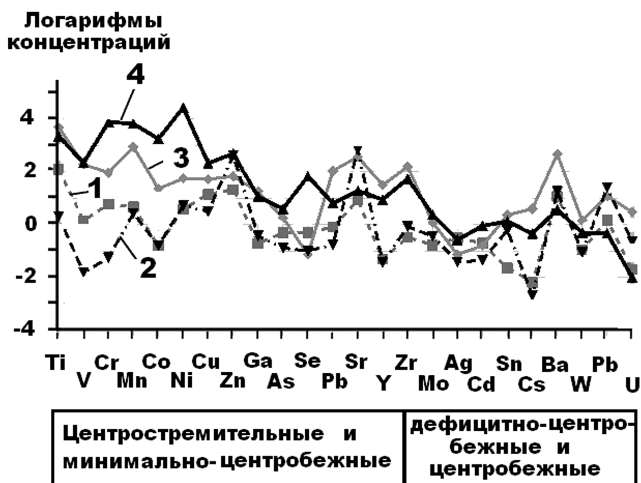


Рис. 3. Согласованное распределение логарифмов содержаний (г/т) элементов в составе бактерий (1) и конкрементов (2) человека

Fig. 3. Consistent distribution of logarithms of the contents (ppm) of elements in the composition of bacteria (1) and concretions (2) of a person

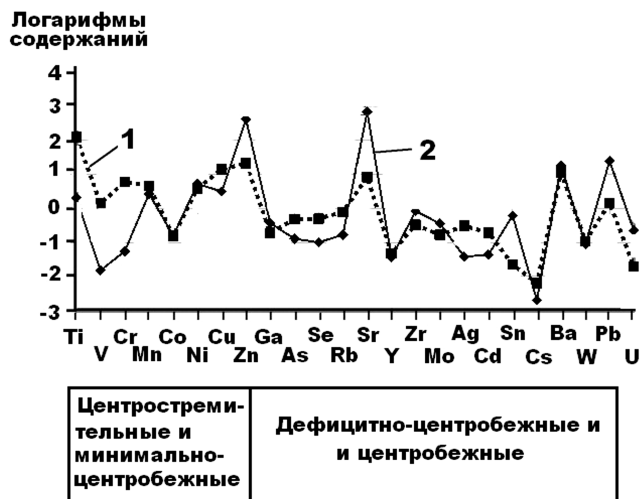


Рис. 4. Близко к согласованному распределению логарифмов содержаний (г/т) элементов в составе бактерий (1), конкрементов человека (2), земной коры (3) и Солнечной системы (4)

Fig. 4. The distribution of the logarithms of the abundances (ppm) of elements in the composition of bacteria (1), human calculi (2), the earth's crust (3) and the solar system (4) is close to consistent

вать о космогеохимическом единстве, пусть и отдаленном, земного неорганического, органического живого и витаминералогического веществ.

Весьма любопытные данные получены Г. Е. Шумаковой (Шумакова, 2017) при изучении распределения содержаний химических элементов в почвах, грунтовых водах и агропродукции юга Ростовской области. Ею были установлены два факта инверсии геохимических свойств марганца и железа в зависимости от состояния среды (рис. 5). Например, в составе водорастворимых соединений реализуется последовательность уменьшения подвижности элементов в направлении от марганца к железу: $Mn > [Co, Ni, Cu, Pb, Cd] > Fe$. Наиболее инертным в этом ряду является железо, а наиболее подвижным — марганец. Валовая концентрация марганца в грунтовых водах превышает концентрацию железа в десятки раз. Ряд миграции подобных форм в составе выращиваемой агропродукции аналогичен. Собственно в почве (рис. 6) ряд подвижности элементов выглядит противоположным образом: $Fe > [Co, Ni, Pb, Cu, Cd] > Mn$. То есть в почвах марганец является наиболее инертным в сравнении с железом, а валовая концентрация марганца в этом случае уступает концентрации железа в десятки раз. Подвижность химических элементов кластера $[Co, Ni, Cu, Pb, Cd]$ в обоих случаях является промежуточной.

Таким образом, судя по данным Г. Е. Шумаковой, миграционная картина марганца и железа в ходе перегруппировок даже в гипергенно-экзогенной об-

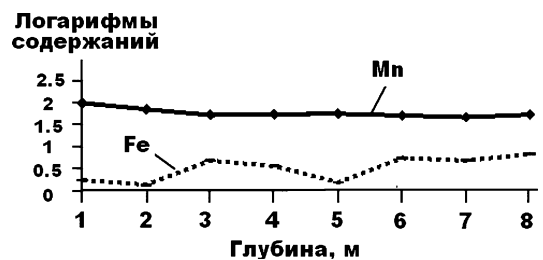


Рис. 5. Вариации содержаний марганца и железа (г/т) в составе водорастворимых соединений по разрезу от поверхности почв до глубины 8 м

Fig. 5. Variations in the contents of manganese and iron (ppm) in the composition of water-soluble compounds along the section from the soil surface to a depth of 8 m

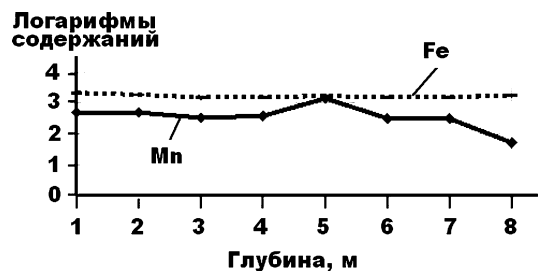


Рис. 6. Вариации содержаний марганца и железа (г/т) в составе почвы и грунтов по разрезу от поверхности почвы до глубины 8 м

Fig. 6. Variations in the content of manganese and iron (ppm) in the composition of soil and soil along the section from the soil surface to a depth of 8 m

становке подчиняется закону геохимической дифференциации по Ю. Г. Щербакову. Это в какой-то степени объясняет и образование, например, железомарганцевых конкреций в морских и океанических сферах. В ходе этого процесса сначала образуются гётит-гидрогётитовые конкреции, затем происходит адсорбция ионов Mn^{2+} поверхностью железных оксид-гидроксидов, потом марганец окисляется и путем ионных замещений вытесняет восстановленные до Fe^{2+} ионы железа (Силаев, 2008). Процесс регулируется ресурсом Mn^{2+} в окружающей среде, который может находиться не только в составе водорастворимых соединений разного генезиса, но и в составе рудовмещающих толщ, как это было показано выше на примере Высокогорного месторождения.

Заключение

Открытие Ю. Г. Щербаковым закона космогеохимической дифференциации элементов было с энтузиазмом воспринято геологами-практиками, занимавшимися геологической съемкой, прогнозом, поисками и оценкой рудных месторождений. В частности, на основе геохимической системы Ю. Г. Щербакова была выдвинута гипотеза о возможности образования в эндогенных геологических условиях промышленных концентраций марганцевых руд в сульфидной форме. В ходе целевого минералого-геохимического картирования м-ба 1:100 000 в пределах развития терригенного верхоянского и вулканогенного охотского комплексов была не только подтверждена универсальность щербаковского принципа космогеохимической дифференциации, но и открыто беспрецедентное до настоящего времени потенциально промышленное сульфидно-индиево-марганцевое месторождение Высокогорное.

Проведенные впоследствии исследования геологических и биологических объектов показали, что никакая степень химической дифференцированности вещества в истории Земли не ликвидирует полностью первично-космической периодичности в распределении щербаковских групп элементов, что можно расценивать как сохранение признака фундаментального космического кода распределения химических элементов на всех уровнях организации минерального и живого вещества в истории Земли и Солнечной системы.

Охарактеризованный выше закон космогеохимической дифференциации и соответствующую ему классификацию элементов Периодической системы следовало бы закрепить в геохимии как *принцип Ю. Г. Щербакова*.

Литература/References

- Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1981. 319 с.
- Barsukov V. L., Grigoryan S. V., Ovchinnikov L. N. *Geokhimicheskiye metody poiskov rudnykh mestorozhdeniy* (Geochemical methods of prospecting for ore deposits). Moscow: Nauka, 1981, 319 p.
- Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555—571.
- Vinogradov A. P. *Sredniye sodержaniya khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoy kory* (Average contents of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust). *Geochemistry*, 1962, No. 7, pp. 555—571.
- Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ / Под ред. Ю. Г. Щербакова. Новосибирск: Наука, 1989. 218 с.
- Geokhimiya rudoobrazuyushchikh sistem i metallogenicheskiy analiz* (Geochemistry of ore-forming systems and metallogenic analysis). Ed. Yu. G. Shcherbakova. Novosibirsk: Nauka, 1989, 218 p.
- Гольдшмидт В. М. Три доклада по геохимии по приглашению Стокгольмской высшей школы и Минералогического общества, 2—3.02. 1934 / Пер. А. А. Саукова // Библиотека Пермского госуниверситета. № 7755.
- Goldshmidt V. M. *Tri doklada po geokhimii po priglaseniyu Stokgol'mskoy vysshey shkoly i Mineralogicheskogo obshchestva* (Three reports on geochemistry at the invitation of the Stockholm Higher School and the Mineralogical Society), 2—3.02. 1934 (translated by A. A. Saukov). Library of Perm State University, No. 7755.
- Золото и редкие элементы в геохимических процессах / под ред. Ю. Г. Щербакова. Новосибирск: Наука, 1976. 314 с.
- Zoloto i redkiye elementy v geokhimicheskikh protsessakh* (Gold and rare elements in geochemical processes). Ed. Yu. G. Shcherbakova. Novosibirsk: Science, 1976. 314 p.
- Кокин А. В. Временная циклично-зональная последовательность накопления и рассеяния элементов в осадочных комплексах Якутии // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 1. С. 204—208.
- Kokin A. V. *Vremennaya tsiklichno-zonal'naya posledovatel'nost' nakopleniya i rasseyaniya elementov v osadochnykh kompleksakh Yakutii* (Temporal cyclic-zonal sequence of accumulation and dispersion of elements in sedimentary complexes of Yakutia). *Doklady Earth Sciences USSR*, 1988, V. 300, No. 1, pp. 204—208.
- Кокин А. В. Геологические и минералого-геохимические особенности нового типа марганцевой минерализации // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2009. № 1. С. 5—14.
- Kokin A. V. *Geologicheskiye i mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti novogo tipa margantsevoy mineralizatsii* (Geological and mineralogical-geochemical features of a new type of manganese mineralization). *Problems of ferrous metallurgy and materials science*, 2009. No. 1. pp. 5—14.
- Кокин А. В. Оценка перспективности рудных объектов. Ростов н/Д: Ростиздат, 2005. 383 с.
- Kokin A. V. *Otsenka perspektivnosti rudnykh ob'yektov* (Evaluation of the prospects of ore objects). Rostov-on-Don: Rostizdat. 2005. 383 p.
- Кокин А. В. Стереогеохимия Ю. Г. Щербакова и проблемы геохимического картирования // Уральский геологический журнал. 2009. № 6. С. 88—92.
- Kokin A. V. *Stereogeokhimiya Yu. G. Shcherbakova i problema geokhimicheskogo kartirovaniya* (Stereogeochemistry of Yu. G. Shcherbakov and problems of geochemical mapping). *Ural Geological Journal*, 2009, No. 6, pp. 88—92.
- Кокин А. В. Трансляция самоподобия последовательности первичного распределения химических элементов в составе кластеров золоторудных месторождений //



- Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. М.: ИИЕТ РАН, 2017. Т. VII. Часть 1. С. 441–454.
- Kokin A. V. *Translyatsiya samopodobiya posledovatel'nosti pervichnogo raspredeleniya khimicheskikh elementov v sostave klasterov zolotorudnykh mestorozhdeniy* (Translation of self-similarity of the sequence of primary distribution of chemical elements in the composition of clusters of gold deposits). Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume VII. Part 1. Moscow: IET RAS, 2017, pp. 441–454.
- Кокин А. В. Уникальный марганцевый объект Якутии // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 6. С. 20–23.
- Kokin A. V. *Unikal'nyu margantsevyyu ob'yekt Yakutii* (Unique manganese object of Yakutia). Mineral Resources of Russia. Economics and Management, 2006, No. 6. pp. 20–23.
- Кокин А. В., Кокина Т. И. Региональные кларки (геофон) осадочных, изверженных пород и минералов как основа геохимических поисков (на примере золотого оруденения Юго-Восточной Якутии) // Повышение эффективности геохимических методов поисков в таежных районах. Иркутск: Изд-во Института геохимии СО РАН. 1986а. С. 36–42.
- Kokin A. V., Kokina T. I. *Regional'nyye klarki (geofon) osadochnykh, izverzhenykh porod i mineralov kak osnova geokhimicheskikh poiskov (na primere zolotogo orudneniya Yugo-Vostochnoy Yakutii)* (Regional clarks (geophone) of sedimentary, igneous rocks and minerals as a basis for geochemical prospecting (on the example of gold mineralization in South-Eastern Yakutia)). Improving the efficiency of geochemical methods of prospecting in taiga regions. Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geochemistry SB RAS, 1986a, pp. 36–42.
- Кокин А. В., Кокина Т. И. Региональные кларки осадочных пород Южного Верхоянья // Математика и ЭВМ в геологии. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1986б. С. 121–123.
- Kokin A. V., Kokina T. I. *Regional'nyye klarki osadochnykh porod Yuzhnogo Verkhoyan'ya* (Regional clarks of sedimentary rocks of the Southern Verkhoyansk). Mathematics and Computers in Geology. Yakutsk: YaF SB AS USSR, 1986b, pp. 121–123.
- Кокин А. В., Силаев В. И., Батуринов А. Л. Алабандин Якутии — новый минеральный тип промышленного оруденения марганца. Ростов н/Д: Ростиздат, 2011. 208 с.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Baturin A. L. *Alabandin Yakutii novuyu mineral'nyu tip promyshlennogo orudneniya margantsa* (Alabandin of Yakutia a new mineral type of industrial manganese mineralization). Rostov-on-Don: Rostizdat, 2011, 208 p.
- Кокин А. В., Силаев В. И., Павлович Н. В., Киселева Д. В., Слюсарь А. В., Слюсарь А. А. О возможной связи мочекаменной болезни с деятельностью бактерий в организме человека // Наука Юга России. 2020а. Т. 16. № 1. С. 77–87.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Pavlovich N. V., Kiseleva D. V., Slyusar A. V., Slyusar A. A. *O vozmozhnoy svyazi mochekamennoy bolezni s deyatel'nost'yu bakteriy v organizme cheloveka* (On the possible connection of urolithiasis with the activity of bacteria in the human body). Science of the South Russia, 2020a, V. 16, No. 1, pp. 77–87.
- Кокин А. В., Силаев В. И., Павлович Н. В., Киселева Д. В., Слюсарь А. В. О соответствии распределения микроэлементов в составе современных бактерий закону периодичности космогеохимической распространенности химических элементов // Вестник геонаук. 2020б. № 7. С. 3–8. DOI: 10.19110/geov.2020.7.1.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Pavlovich N. V., Kiseleva D. V., Slyusar A. V. *O sootvetstvii raspredeleniya mikroelementov v sostave sovremennykh bakteriy zakonu periodichnosti kosmogeokhimicheskoy rasprostranennosti khimicheskikh elementov* (On the correspondence of the distribution of microelements in the composition of modern bacteria to the law of periodicity of the cosmogeochemical abundance of chemical elements). Vestnik of Geosciences, 2020b, No. 7, pp. 3–8. DOI: 10.19110/geov.2020.7.1.
- Кокин А. В., Силаев В. И., Киселева Д. В., Филиппов В. Н. Новый потенциально промышленный тип оруденения // Доклады РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 372–377.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. *Novuyu potentsial'no promyshlennuyu tip orudneniya* (A new potentially industrial type of facility). Report of the Russian Academy of Sciences. 2010. T. 430. No. 3. pp. 372–377.
- Кокин А. В., Сухоруков В. И., Шишигин П. Р. Региональная геохимия. Ростов н/Д: Ростиздат, 1999. 426 с.
- Kokin A. V., Sukhorukov V. I., Shishigin P. R. *Regional'naya geokhimiya* (Regional geochemistry). Rostov-on-Don: Rostizdat, 1999, 426 p.
- Кузнецов В. А., Щербakov Ю. Г. Устойчивые вариации химизма в петро- и магмогенезисе. Новосибирск: Наука, 1986. 255 с.
- Kuznetsov V. A., Shcherbakov Yu. G. *Ustoychivyye variatsii khimizma v petro- i magmogenezise* (Stable variations of chemism in petro- and magma genesis). Novosibirsk: Science, 1986, 255 p.
- Павлович Н. В., Кокин А. В., Силаев В. И., Аронов Н. В., Цимбалистова М. В., Киселева Д. В., Слюсарь А. В. Сравнительный анализ микроэлементов у бактерий разных видов // Актуальные вопросы изучения особо опасных и природно-очаговых болезней. Ростов н/Д, 2019. С. 309–313.
- Pavlovich N. V., Kokin A. V., Silaev V. I., Aronov N. V., Tsimbalistova M. V., Kiseleva D. V., Slyusar A. V. *Sravnitel'nyu analiz mikroelementov u bakteriy raznykh vidov* (Comparative analysis of trace elements in bacteria of different species). Topical issues in the study of especially dangerous and natural focal diseases. Rostov-on-Don, 2019, pp. 309–313.
- Силаев В. И. Зональность рудных месторождений и полей как отражение геохимической дифференциации. Сыктывкар, 1987. 24 с. (Научные доклады. Вып. 173)
- Silaev V. I. *Zonal'nost' rudnykh mestorozhdeniy i poley kak otrazheniye geokhimicheskoy differentsiatsii* (Zoning of ore deposits and fields as a reflection of geochemical differentiation). A series of preprints «Scientific reports», Issue 173, Syktyvkar, 1987, 24 p.
- Силаев В. И. Зональность Саурей-Лекынтальбейского рудного узла и прогноз рудоносности Полярного Урала. Сыктывкар, 1982. 36 с. (Научные рекомендации — народному хозяйству. Вып. 36)
- Silaev V. I. *Zonal'nost' Saurey-Lekyntal'beyskogo rudnogo uzla i prognoz rudonosnosti Polyarnogo Urala* (Zoning of the Saurey-Lekyntalbeiy ore cluster and forecast of the ore potential of the Polar Urals). A series of preprint messages «Scientific recommendations for the national economy», Issue 36, Syktyvkar, 1982, 36 p.

- Силаев В. И. Механизмы и закономерности эпигенетического минералообразования. Екатеринбург: Наука, 2008. 405 с.
- Silaev V. I. *Mekhanizmy i zakonomernosti epigeneticheskogo mineraloobrazovaniya* (Mechanisms and patterns of epigenetic mineral formation). Ekaterinburg: Nauka, 2008, 405 p.
- Силаев В. И., Кокин А. В., Павлович Н. В., Шанина С. Н., Киселёва Д. В., Васильев Е. А., Мартиросян О. В., Смолева И. В., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Шуйский А. С., Щемелинина Т. Н., Игнатиев Г. В., Слюсарь А. В. Первые результаты комплексных исследований современных микроорганизмов физико-химическими и минералого-геохимическими методами // Вестник геонаук. 2021. № 9. С. 3–33.
- Silaev V. I., Kokin A. V., Pavlovich N. V., Shanina S. N., Kiseleva D. V., Vasiliev E. A., Martirosyan O. V., Smoleva I. V., Filippov V. N., Khazov A. F., Shuisky A. S., Schemelinina T. N., Ignatiev G. V., Slyusar A. V. *Pervyye rezultaty kompleksnykh issledovaniy sovremennykh mikroorganizmov fiziko-khimicheskimi i mineralogo-geokhimicheskimi metodami* (The first results of complex studies of modern microorganisms by physical-chemical and mineralogical-geochemical methods). Vestnik of Geosciences, 2021, No. 9, pp. 3–33.
- Силаев В. И., Кокин А. В., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Кравцов Р. В. Сопутствующая сульфоантимонидная минерализация на уникальном сульфидно-индиево-марганцевом месторождении в России // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 26. Пермь: ПГНИУ. 2023. С. 236–244.
- Silaev V. I., Kokin A. V., Filippov V. N., Khazov A. F., Kravtsov R. V. *Soputstvuyushchaya sul'foantimonidnaya mineralizatsiya na unikal'nom sul'fidno-indiyevom-margantsevom mestorozhdenii v Rossii* (Associated sulfoantimonide mineralization at a unique indium-manganese sulfide deposit in Russia). Problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny. Scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky. Issue 26, Perm: PSNIU, 2023, pp. 236–244.
- Рундквист Д. В., Неженский И. А. Зональность эндогенных месторождений. М.: Недра, 1975. 182 с.
- Rundkvist D. V., Nezhensky I. A. *Zonal'nost' endogennykh mestorozhdeniy* (Zoning of endogenous deposits). Moscow: Nedra, 1975, 182 p.
- Ферсман А. Е. Причины зонального распределения химических элементов в земной коре и Земле: избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. III. С. 345–365.
- Fersman A. E. *Prichiny zonal'nogo raspredeleniya khimicheskikh elementov v zemnoy kore i Zemle* (Causes of the zonal distribution of chemical elements in the earth's crust and the Earth). Fav. Proceedings. V. III. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1955, pp. 345–365.
- Шумакова Г. Е. Особенности миграции тяжёлых металлов из водорастворимых соединений почвы в разные части плода кабачков // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 125. С. 1–13.
- Shumakova G. E. *Osobennosti migratsii tyazholykh metallovo iz vodorastvorimykh soyedineniy pochvy v raznyye chasti ploda kabachkov* (Features of the migration of heavy metals from water-soluble soil compounds to different parts of the squash fruit). Scientific journal of KubGAU, 2017, No. 125, pp. 1–13.
- Щербачков Ю. Г. Геохимическая эволюция и рудные формации // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск: Наука, 1976. С. 217–229.
- Shcherbakov Yu. G. *Geokhimicheskaya evolyutsiya i rudnyye formatsii* (Geochemical evolution and ore formations). Problems of endogenous ore formation and metallogeny. Novosibirsk: Nauka, 1976, pp. 217–229.
- Щербачков Ю. Г. Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1974. 279 с.
- Shcherbakov Yu. G. *Geokhimiya zolotorudnykh mestorozhdeniy v Kuznetskom Alatau i Gornom Altaye* (Geochemistry of gold deposits in Kuznetsk Alatau and Gornoy Altai). Novosibirsk: Science, 1974, 279 p.
- Щербачков Ю. Г. Картинки войны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 134 с.
- Shcherbakov Yu. G. *Kartinki voyny* (Pictures of the war). Novosibirsk: Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005, 134 p.
- Щербачков Ю. Г. Периодичность кларковых отношений и геохимическая эволюция земной коры // Докл. АН СССР. 1965. Т. 161. № 2. С. 451–455.
- Shcherbakov Yu. G. *Periodichnost' klarkovykh otnosheniy i geokhimicheskaya evolyutsiya zemnoy kory* (Periodicity of Clarke Relations and Geochemical Evolution of the Earth's Crust). Dokl. Academy of Sciences of the USSR, 1965, V. 161, No. 2, pp. 451–455.
- Щербачков Ю. Г. Распределение элементов в Земле и рудоносность магм // Вулканизм и рудообразование. Новосибирск: Наука, 1969. С. 44–50.
- Shcherbakov Yu. G. *Raspredeleniye elementov v Zemle i rudonosnost' magm* (Distribution of elements in the Earth and ore content of magmas). Volcanism and ore formation. Novosibirsk: Science, 1969, pp. 44–50.
- Clarke F. W. The data of Geochemistry, 5, August. N. J. U. S. Dep. Interior, geol. Surv. 1924. 841 p.
- Goldschmidt V. M. Geochemistry. Oxford and the Clarendon Press. Oxford. 1954. P. 730.
- Kotz J. C., Treichel P., Townsend J. Chemistry and Chemical Reactivity. V. 2. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2009. 324 p.
- Mason B. Meteorites New York, «J. W. Ley and Sons». 1962. 274 p.
- Myers R. The basics of chemistry. Westport, Conn.: Greenwood Press, 2003. P. 61–67.
- Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New potentially industrial type of indium sulfide-manganese ore // Indium: Properties, Technological Applications and Health Issues. New York: NOVA publishers, 2013. P. 261–284.
- Stoker Stephen H. General, organic, and biological chemistry. New York: Houghton Mifflin, 2007. 68 p.
- Turekian K. K., Wedephol K. N. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. Geol. Sok. America Bull. 1961. V. 72. № 6. P. 175–192.