

1. Белоусова А.П. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. 339 с.
2. Белоусова А.П. Основные принципы и рекомендации по оценке и картированию защищенности подземных вод от загрязнения // Водные ресурсы. 2002. Т. 30. № 6. С. 667—677.
3. Биндман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 203 с.
4. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
5. Имамалиев А.М. Научные основы увеличения производства и повышения качества хлопка-сырца // Вестник сельскохозяйственной науки. 1980. № 12. С. 72—78.
6. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрохимия: Учебник для вузов М.: Недра, 1992. 463 с.
7. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПин 2.1.4.1074-01. М.: Госкомсанэпиднадзор, Россия, 2001. 15 с.
8. Самойленко В., Якубова Р., Кахаров А. Охрана подземных вод от загрязнения агрохимикатами. Ташкент: Мехнат, 1987. 187 с.
9. Albinet M., Margat J. Carthographie de la vulnérabilité a la pollution des nappes d'eau souterraine. Orléans, 1970. 4 p.
10. Aller L., Bennett T., et al. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting. US Env. Prot. Agency, Ada, OK, 1987. 455 p.
11. Cahiers O.R.S.T.O.M. série hydrologie. V. XV, N 1 et 2. O.R.S.T.O.M. Paris, 1978. 210 p.
12. Kundler P., Matzel W., Goltz H. Miheraldungung. Berlin: VED Dt. Landwirtschaftsverlad, 1970. 517 s.
13. Margat J. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution: bases de la carthographie. Orléans, 1968. 123 p.
14. Olivey J.C. Les tributaires de la Bénoué. Fleuves et rivières du Cameroun // Collection «Monographies Hydrologiques» O.R.S.T.O.M. Paris, 1986. № 9. P. 447—538.
15. Projet Camerouno-Japonais d'hydraulique rurale 2<sup>e</sup> phase, rapport des forages 1994/1995 réalisé par Ndjock J., Watat S., Souley Abdoul. Yaoundé, 1995. 137 p.
16. Projet Camerouno-Japonais d'hydraulique rurale 2<sup>e</sup> phase, rapport des forages 1991/1992 réalisé par Ndjock J. Yaoundé, 1992. 56 p.
17. Tillément B. Hydrogéologie du Nord Cameroun. Thèse de Doct — Ingenieur. Lyon, 1970. 294 p.
18. Vrbaj Z., Zaporozec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. V. 16. Hannover, 1994. 131 p.

Московский государственный  
геологоразведочный университет  
Аспирант  
Рецензент — Е.В. Попов

УДК 550.84:553.062/067

Р.В. ПАНФИЛОВ, И.И. ГЕТМАНСКИЙ

## РАЗНОРАНГОВЫЕ АНОМАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ РУДОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Необходимость повышения надежности выделения и интерпретации разноранговых рудных объектов требует проведения анализа большого количества как геологических, так и минералого-геохимических факторов контроля локализации оруденения. Увеличение числа признаков и параметров рудных объектов разных иерархических уровней, анализ пространственной изменчивости подобных показателей как в индивидуальном плане, так и в определенных сочетаниях при учете конкретных геолого-геохимических условий формирования оруденения должны найти отражение при совершенствовании методики оценки геохимических аномалий.

Проведение геохимических исследований, входящих в состав прогнозно-поисковых работ (ППР), связано с изучением состава и строения геохимического поля (ГП), проявленного на конкретной территории. В общем случае ГП характеризует элементный состав и химические особенности пространства, сложного геологическими образованиями, которым свойственны определенные спектры химических элементов, их формы проявления (минеральная, безминеральная), структура распределения в пространстве и морфологические очертания поля.

Последующая трансформация ГП, обусловленная наложением на него различных геологических процессов, приводит к изменению первичной структуры ГП и образованию в его контурах областей или элементов неоднородности, относящихся к разряду так называемых аномальных геохимических полей (АГП). В свою очередь каждое из таких АГП также неоднородно и при более детальном изучении состоит из более мелких фрагментов, в совокупности образующих структуру следующего уровня организации АГП. Рассматривая отдельно взятый элемент строения АГП на этом уровне, можно выделить еще более мелкие составляющие, принадлежащие к следующему уровню организации АГП.

Таким образом, теоретически модель строения АГП представляет собой иерархическую систему структурных уровней, каждый из которых должен характеризоваться комплексом признаков, относимых к определенному рангу. Такая модель удовлетворительно объясняется на основе предложенной В.М. Питулько [6] идеи формирования многоуровневых

(иерархических) структур ГП, связанных с динамикой развития так называемых конвективных ячеек, или моделью геосферы, сформулированной В.С. Голубевым [1]. Как в первом, так и во втором случаях предложенные модели основываются на представлениях об открытых системах, обменивающихся веществом и энергией с окружающей средой, и на возможности возникновения самоорганизующейся рудогенной системы, которая при формировании сопровождается направленным концентрированием вещества вплоть до промышленного уровня. Разрушение ее на том или ином этапе развития в результате дефицита вещества (или энергии) и неблагоприятных геолого-структурных условий локализации оруденения может привести лишь к образованию рассеянной минерализации или рудопроявлений.

Основываясь на таких представлениях можно заключить, что из множества АГП, выявляемых на начальных стадиях ППР, объектами дальнейшего изучения должны служить лишь те АГП, которые на соответствующем уровне организации вещества характеризуются определенными признаками, указывающими на возможность отнесения АГП к продукту последовательной эволюции самоорганизующейся рудогенной системы.

По характеристикам (состав, структура, размер и пр.) АГП разноранговых рудных объектов независимо от геолого-структурных обстановок существенно различаются. Иллюстрацией этому могут служить сведенные в таблицу обобщенные параметры АГП разных иерархических уровней, базирующиеся на анализе литературных данных [2, 5—10] и на материалах, полученных в разные годы коллективом ведущих специалистов ИМГРЭ в области поисковой геохимии по большому числу конкретных рудных объектов различной формационной принадлежности.

Как видно из таблицы, те или иные геохимические признаки АГП разноранговых рудных объектов в каждом конкретном случае обладают определенной разрешающей способностью по выделению и оценке таких объектов. При этом для повышения надежности результатов важен не только факт наличия признаков, но и их связь и взаимообусловленность.

Наиболее существенную роль при выделении и изучении АГП рудных районов и узлов играют геологические факторы,

**Геохимические прогнозно-поисковые признаки разноранговых рудных объектов различных типов эндогенного оруденения**

Признаки	Рудный район	Рудный узел	Рудное поле	Рудное месторождение
Размеры АГП: площадь, км <sup>2</sup> размах по горизонтали, км предполагаемый размах по вертикали, км	$n \cdot 10^3$ 30-50 10-30	$n \cdot 10^2$ 10-30 8-20	$n \cdot 10$ 3-5 3-5	$n$ 1-3 2-5
Элементный состав и структура АГП в первичных или вторичных средах	Изометричные области проявления аномальных концентраций элементов в центре поля — Na, K, и по его периферии — Al, Si; слабоконтрастные (субфоновые) участки проявления рудных элементов	Повышенные концентрации в центре поля — Fe, Ca, Na, Ti, и на периферии — K, Na, при слабоконтрастных аномалиях рудных элементов	Аномальные концентрации в центре поля — Sr, Ba, Cr, Ni, Mn, Sc, Zr, Nb, As, и по его периферии — Fe, Ca, Mg, Ti, при увеличении содержаний в аномалиях рудных элементов	Блоки с концентрически-зональным распределением Li, Rb, Cs, B, Ag (As, Cu, Zn, P и др.) в центре и Mn, Ba, Sr, Sc, Zr, Nb на периферии. W <sup>1</sup> -Be-As <sup>1</sup> -Sn-U-Mo-Co-Ni-Bi-W <sup>2</sup> -Cu <sup>1</sup> -Au-Zn-Pb-Ag-Cd-Cu <sup>2</sup> -Hg-As <sup>2</sup> -Sb-BW <sup>1</sup> - (обобщенный ряд зональности снизу вверх)
Пределы распространения в АГП: центробежных элементов центростремительных элементов	Al, Si до 30 км Na, K до 15 км	Na, K до 10 км Fe, Ca, Mg, Ti до 5 км	Fe, Ca, Mg, Ti до 5 км Nb, As, Ba, Cr, Ni, Mn, Sc до 2 км	Ba, Sr, Cr, Ni, Mn, Sc, Zr, Nb до 2 км Li, Rb, Cs, Ag, B, Cu, Pb, Zn и др. до 1 км
Летучие компоненты в пределах АГП	F, Cl, H <sub>2</sub> S, Hg, CO <sub>2</sub>	P, Hg, CO <sub>2</sub> , S, J	CH <sub>4</sub> , Hg, CO <sub>2</sub> , S, J, Br	Hg, J
Формы нахождения элементов в пределах АГП	Основные породообразующие минералы и адсорбция в микротрещинах. Флюидные включения органического вещества, аморфные включения в межпакетных позициях слюдястых минералов	Породообразующие и рудные минералы; изоморфная в породообразующих	Изоморфная в породообразующих, собственные рудные минералы	Петрогенные минералы с микровключениями рудных. Рудные минералы в межзерновом пространстве, выделение ассоциаций рудных элементов. Изоморфная в породообразующих и рудных минералах
Типы границ АГП	Увеличение степени определенности выделения блоков →			

поскольку на этом уровне геохимические признаки только начинают формироваться, малоконтрастны и могут быть использованы исключительно в сочетании с анализом геологического строения конкретной территории.

Вовлечение в процессе образования АГП на данном иерархическом уровне значительных по объему масс пород обуславливает ведущую роль в составе аномалий повышенных концентраций породообразующих элементов (Al, Si, Na и др.). Морфологический облик АГП подчиняется главным образом наиболее рельефно проявившимся здесь крупным кольцевым структурам в сочетании с секущими линейными зонами. Последние заметно усиливают влияние на морфологию АГП в ранге рудного узла.

Рудные элементы играют на этом уровне организации вещества явно подчиненную роль. Это связано с тем, что формирование рудогенерирующей системы на уровне рудного района проходит лишь начальные стадии, что, в частности, проявляется не только в степени накопления таких элементов (надфоновые концентрации), но и в формах выделения (в основном безминеральные).

АГП в рангах рудного поля и месторождения (рудного тела) формируются в направлении резкого возрастания роли геохимических факторов на фоне усложнения геологического строения и индивидуализации отдельных блоков пород по ряду структурно-литологических характеристик. Резко расширяется спектр элементов, участвующих в АГП, их более контрастное накопление (при ведущей роли рудных элементов) и пространственная дифференциация. Геологическая неоднородность оказывает определенное воздействие на морфологию АГП, а распределение элементов и их ассоциаций в пространстве предопределяет структуру поля, выяснение которой служит основой оценочных критериев конкретных блоков пород.

Важно также отметить смещение в сторону собственных минеральных форм нахождения элементов-индикаторов оруденения по мере перехода АГП от рудного поля к месторождению и

рудному телу, что является важным фактором при вычленении минералого-геохимической индикации искомого объекта.

В целом в процессе эволюции рудоносной системы элементный состав АГП постепенно по мере перехода от рудного района к месторождению изменяет не только спектр, но и состав, смещаясь в сторону преобладания рудных компонентов. В этом же направлении меняется и степень концентрированности элементов рудного комплекса. Дискретное возрастание содержаний рудных компонентов при усложнении пространственных структур рудоносных систем отражает этапы рудогенеза, а ступенчатый механизм многоуровневой концентрации вещества повсеместно сопровождается формированием любых полезных ископаемых [3, 4]. Изменение концентраций в АГП характерно не только для рудных элементов. Количества любых элементов, слагающих АГП, меняются синхронно и обладают одинаковым числом уровней перераспределения (накопления, разубоживания). В связи с чем объективная характеристика зональности АГП может быть получена лишь при совместном рассмотрении особенностей распределения петрогенных, легколетучих и рудных элементов.

Таким образом, при организации геохимических работ и последующей интерпретации и оценки их результатов необходимо учитывать следующие основные свойства АГП:

1. Однотипность (общность) размеров и форм многоуровневых полей эндогенного оруденения (вне связи с возрастом и составом вмещающих толщ, геологической позицией оруденения и ассоциацией элементов) — как следствие осуществившегося процесса массотеплопереноса в литосфере.

2. Поэтапность процесса рудоконцентрации вещества от уровня к уровню. Промышленное накопление (в кондициях сегодняшнего дня) рудных компонентов начинается в структурах крупного ранга и последовательно нарастает в АГП рудного района, узла, рудного поля и месторождения (центростремительный тип накопления). Противоположная тенденция устанавливается для петрогенных элементов в составе АГП (центробежный тип накопления).

3. Единообразие в сочетании полей накопления и разубоживания (привнос—вынос) групп элементов, слагающих разноразличные АГП. Различные элементные группы в составе АГП изменяются синхронно (обладают одинаковым числом уровней перераспределения).

4. Проявление типоморфизма элементного состава каждого из уровней организации АГП с присущим им типом зональности и взаимоотношениями между ассоциациями элементов.

5. Продуктивность минералогических систем и их степень дифференциации по составу определяется уровнем сложности их структуры и интенсивностью проявления факторов рудолокализации.

6. Возникновение месторождения в качестве конечного продукта последовательного развития разноразличных АГП как результат сочетания множества условий, предопределивших сопряженность оптимальных условий транспорта вещества, его отложения и дренажа «отработанных» растворов из области рудодозировки. Нарушение системы благоприятных условий приводит к изменению конечного результата — отсутствию рудного объекта. Комбинация благоприятных условий отражается в структуре АГП — наиболее мощном критерии его продуктивности.

В заключении отметим, что при выделении АГП разных рангов, отражающих соответствующий этап развития самоорганизующейся рудогенной системы, следует руководствоваться в первую очередь наличием следующих основных признаков:

1. АГП рудного района характеризуется значительной площадью проявления ( $n \cdot 10^3$  км<sup>2</sup>), расположенной в границах крупного геолого-структурного элемента земной коры с установленными здесь сериями промышленных и непромышленных рудных объектов различного происхождения. Связанные в основном с процессом тектоно-магматической активизации области в АГП данного уровня организации вещества главную роль играют петрогенные (Al, Si) и щелочные (K, Na) элементы с центробежным и центростремительным типами зональности при резко подчиненном значении рудных элементов (надфоновые концентрации).

2. АГП рудного узла ограничивается площадью  $n \cdot 10^2$  км<sup>2</sup> и контролируется областями сопряжения крупных глубинных разломов или других более локальных и обособленных структур, определяющих положение известных месторождений и рудопоявлений преимущественно родственных генетически и однотипных по составу и возрасту. В составе АГП принимают участие сидерофильные (Fe) и литофильные (Ca, Na, Ti) элементы с центростремительным типом зональности, а также щелочные литофильные (K, Na) с центробежным типом зональности. Рудные элементы образуют поля слабоконтрастных аномалий.

3. АГП рудного поля проявляется на площади  $n \cdot 10$  км<sup>2</sup>, в пределах которой расположены генетически связанные между собой рудные объекты (месторождения, рудопоявления, точки минерализации), контролируемые локальными тектоническими элементами, одним, группой близких магматических тел или определенными по составу рудовмещающими породами. В составе АГП принимают участие группы литофильно-сидерофильных элементов с центростремительным типом зональности (Sr, Ba, Cr, Ni, Mn) и с центробежным типом зональности (Fe, Ca, Mg, Ti) при увеличивающейся роли рудных элементов.

4. АГП месторождения локализуется на площади  $n$  км<sup>2</sup>, представляющей собой структурно-вещественную композицию, в которой просматривается тесная взаимосвязка вещественного состава оруденения, структуры, деформационных особенностей вмещающих пород, их пространственной изменчивости с морфоструктурным обликом литогеохимических ореолов, проявившихся в различных средах. В составе АГП участвуют литофильно-халькофильные элементы (Li, Rb, Cs, V, Ag, As, Cu, Pb, Zn и др.) с центростремительным типом зональности и литофильно-сидерофильные (Sr, Ba, Cr, Ni, Mn, Sc, Zr, Nb) с центробежным типом зональности.

Максимально полное выявление всех отмеченных характеристик и связей объектов прогноза необходимо для перехода от анализа к синтезу и извлечению системного эффекта прогнозирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г о л у б е в В.С. Термодинамическая модель эволюции геосистем и биосферы // Геология и геофизика. 1991. № 3. С. 29–37.
2. Г р и г о р я н С.В. Рудничная геохимия. М.: Недра, 1992. 294 с.
3. Е р м о л а е в Н.П., Ф л и ц и я н Е.С. Принцип ступенчатого концентрирования редких и благородных элементов при локальном металлогенном анализе сланцевых формаций // Геохимия в локальном металлогенном анализе. Тез. всесоюз. симпоз. Т. 1. Новосибирск: Наука, 1988. С. 135–136.
4. И в а н о в В.В., П а н ф и л о в Р.В. О зависимости между рассеянием и концентрацией в общем геохимическом цикле миграции элементов в земной коре // Геохимия. 1985. № 9. С. 1250–1258.
5. О в ч и н н и к о в Л.Н. Прогноз рудных месторождений. М.: Недра, 1992. 308 с.
6. П и т у л ь к о В.М. Картирование геохимических полей рудогенных систем с использованием структурно-восстанови-

7. тельных признаков многоуровневого конвективного процесса // Методика геохимического картирования при геолого-съемочных и поисковых работах. М.: ИМГРЭ, 1989. С. 29–41.
8. П л ю щ е в Е.В., Ш а т о в В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1985. 213 с.
9. С о л о в о в А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.
10. Т а у с о н Л.В., Г у н д о б и н Г.М., З о р и н а Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. Новосибирск: Наука, 1987. 202 с.
11. Щ е р б а к о в Ю.Г. Периодическая система и космогеохимическое распределение элементов // Геология и геофизика. 1982. № 1. С. 77–84.

ИМГРЭ

Рецензенты — А.Н. Роков, Н.Н. Трофимов

УДК 347.55

Л.Г. ГРАБЧАК., О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ., Б.М. РЕБРИК

## НАУКА — УЧЕБНОМУ ПРОЦЕССУ

В Московском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе (МГГРУ) научно-исследовательские работы всегда проводились в тесной взаимосвязи с учебным процессом. Это объясняется тем обстоятельством, что горно-геологическая технология и отражающие ее учебные дисциплины горно-геологического цикла сами по себе наукоёмкие и указанная связь определена как бы априори. Геолого-разведочные и горные работы всегда содержали в себе элемент поиска и значительный объем исследований. Каждое

месторождение практически любого полезного ископаемого по своей природе — уникально, и его освоение представляет собой научно-производственный процесс, причем элемент исследовательский в ряде случаев приобретает здесь определяющее значение. Например, открытие и разведка месторождений алмазов в Якутии (кимберлитовых труб) обогатили геологическую науку новыми научными открытиями. Более того, изучение недр Земли во всем их многообразии сплошь и рядом ставит перед геологами исследовательские задачи.