

УДК 550.84 : 550.42 : 553.34

А.А. ГОЛОВИН, Л.А. КРИНОЧКИН

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*В результате исследований авторы пришли к выводу, что рудные объекты можно выявлять при наличии определенных критериев - аномальных геохимических полей и особенностей, генетически связанных с ними, при этом важно учитывать размер, структуру, зональность, присутствие элемент-индикаторов, значения вариационных коэффициентов и др.*

В основе выявления геохимических признаков крупных и уникальных рудных месторождений лежат три условия. *Первое* - образование месторождений, а тем более крупных, представляет собой процесс концентрирования химических элементов в определенном объеме земной коры, требующий приложения энергии [1, 2]. Очевидно, чем больше затрачено энергии на образование рудного месторождения, тем больше в нем сконцентрировано химических элементов, т. е. тем оно крупнее. *Второе* - предполагаем, чем более устойчив определенный блок земной коры в процессе длительных геологических преобразований и чем продолжительнее сохраняются направления векторов движения рудообразующих флюидов, тем крупнее месторождение. *Третье* - вероятно, чем больше затрачено энергии и времени на образование рудного месторождения, тем относительно в большей мере возрастают значения концентрации низкокларковых химических элементов (х. э.), по сравнению со средне- и высококларковыми.

Как установлено нашими исследованиями, важнейшими признаками крупных и уникальных месторождений служат наличие и определенные характеристики генетически связанных с ними аномальных геохимических полей (АГХП). Рудогенные АГХП являются следствием процессов образования этих месторождений и несут в себе информацию о типе прогнозируемого оруденения, месте его локализации, степени сохранности и масштабе, т. е. крупные и уникальные месторождения обязательно должны проявляться комплексом определенных геохимических показателей.

Приведем несколько примеров.

Уникальная оловянно-полиметаллическая металлогеническая специализация Российского Приморья общеизвестна. Здесь в результате МГХК-1000 в донных отложениях выделены аномальные поля Sn, Pb, Zn, Ag, As весьма крупного размера, высокой интенсивности (рис. 1). Аномальная зона олова непрерывно протягивается с юга на север на 600 км при ширине до 100-120 км. В пределах ее локализованы все известные месторождения олова (оловянно-полиметаллические, касситерит-силикатные, касситерит-сульфидные, касситерит-кварцевые). Известный Кавалеровский рудный район расположен в центральной части зоны. В его пределах известны крупные промышленные оловорудные месторождения - Дубровское, Верхнее, Перевальное, Хрустальное, Левицкое, Силинское, Арсеньевское, Новогорское, Высокогорское. За-

пасы района составляют порядка 400 тыс. т. Общий металлогенический потенциал этой зоны - не менее 1 млн т олова.

На северном фланге аномальной зоны выявлена крупная аномалия олова, в пределах которой прогнозируется обнаружение новых оловянных месторождений.

Региональное развитие в Приморье имеет также аномальная геохимическая зона свинца протяженностью ~ 600 км при ширине до 150 км (рис. 2). С ней тесно ассоциируют аномальные зоны цинка, серебра и мышьяка, также с уникальными размерами и высокой интенсивностью. В центральной час-

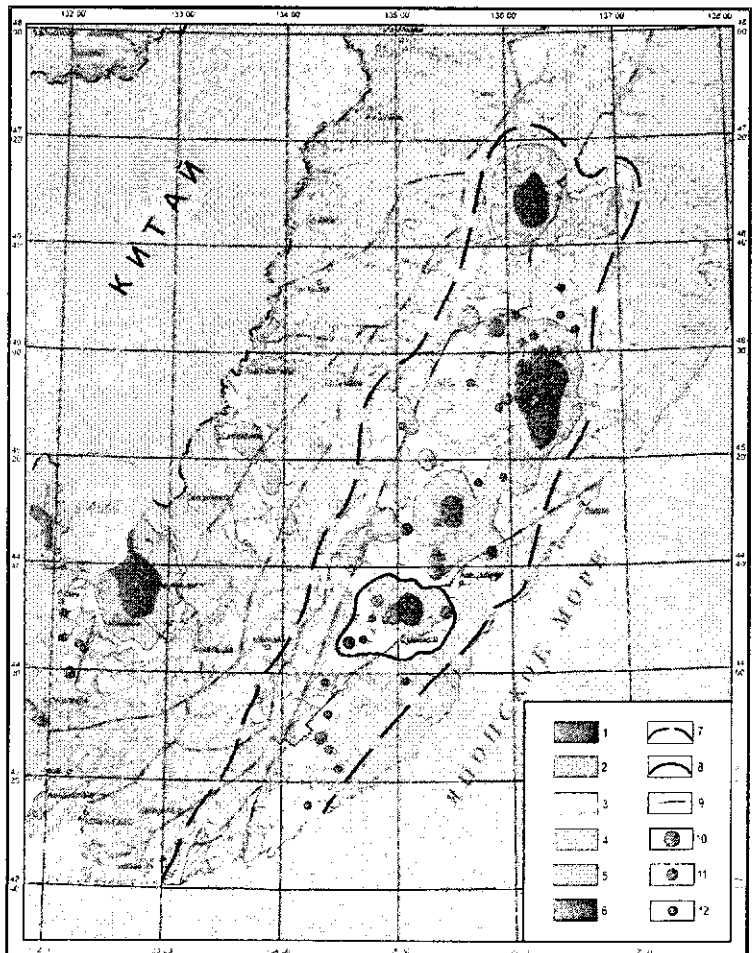


Рис. 1. Аномальные геохимические поля олова в донных осадках речной сети Приморья: 1-6 - содержание олова (1 - > 15; 2 - 15-10; 3 - 10-6,6; 4 - 6,6-3; 5 - 3-2; 6 - < 2 г/т); 7-9 - границы (7 - геохимической зоны, 8 - Кавалеровского оловорудного района, 9 - структурно-формационных зон); 10-12 - оловорудные месторождения (10 - крупные, 11 - средние, 12 - мелкие)

ти этой зоны расположен Дальнегорский рудный район, в пределах которого известно более десятка крупных промышленных свинцово-цинковых (с серебром) месторождений (Николаевское, Садовое, Верхнее, Советские и др.). Минерагенический потенциал Дальнегорского района составляет (тыс. т): Pb - 2000, Zn - > 3000, Ag - 13000. Минерагенический потенциал аномальной геохимической зоны в целом оценивается для свинца и цинка, примерно, по 3,5 млн т, а для серебра - 43 тыс. т.

К северу от Дальнегорского района выделено крупное высокоинтенсивное аномальное поле свинца, где мы прогнозируем возможность выявления новых полиметаллических месторождений крупного масштаба.

Хорошо известный уникальный по запасам редких и редкоземельных элементов Ловозерский рудный район (Кольский п-ов) выделяется мультипликативным АГХП вида:  $M = Y * La * Ce * Nb * Zr$ , размер которого превышает  $250 \times 250$  км. Оно обрамляет не только все известные месторождения указанного состава, но и перспективные площади развития рудоносных массивов щелочных пород.

В Балейском рудном районе Восточного Забайкалья, где известны крупные месторождения золото-серебряной формации (Балейское и Тасеевское), а также среднересурсное (Среднегологотайское) и малые месторождения и рудопроявления золота, АГХП этого рудного поля контрастно выделяется размерами (> 200 км<sup>2</sup>), высокой интенсивностью, комплексностью. Наиболее характерная черта АГХП рудного поля - отчетливо выраженная зональность, проявляемая в общей упорядоченности структуры ореолов, обусловленной асимметричной дифференциацией химических элементов в направлении движения рудообразующих растворов. Эта зональность проявлена выявленными 3-4 зонами геохимических ассоциаций. Центральная - ядерная зона АГХП выполнена ассоциацией положительных аномальных концентраций Au, Ag, Sb, As (основных элементов-индикаторов данного типа оруденения), а также - Pb, Zn, Sn, Ba, Bi, Cu, W. Вместе с тем в этой зоне установлены отрицательные (ниже фоновых) значения содержания, преимущественно, сидерофильных х. э. (Mn, V, Cr, Ni, Co, Ti, Sc). Именно к этой зоне приурочены все известные месторождения и большая часть рудопроявлений Балейского рудного поля. Следующая зона - периферическая, сложенная положительными, но более низкой интенсивности, аномальными концентрациями Au, Ag, Sb, As, Hg, Sn, Mn, W при близком содержании других х. э. Следующая зона, проявленная фрагментарно, содержит положительные аномальные значения концентрации Hg. Последняя - зона переотложения, содержащая положительные аномальные значения концентрации главным образом сидерофильных х. э. указанных выше.

На основе описанной зональности были предложены и рассчитаны два геохимических показателя: крупности ( $K_{кр} = \frac{Ag \cdot Bi \cdot As \cdot Hg}{Pb \cdot Zn \cdot Ag}$ ) и привноса-выноса ( $K_{пр} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Mn \cdot V \cdot Cr}$ ), позволившие контрастно откартировать указанную зональность. Высокоперспективные

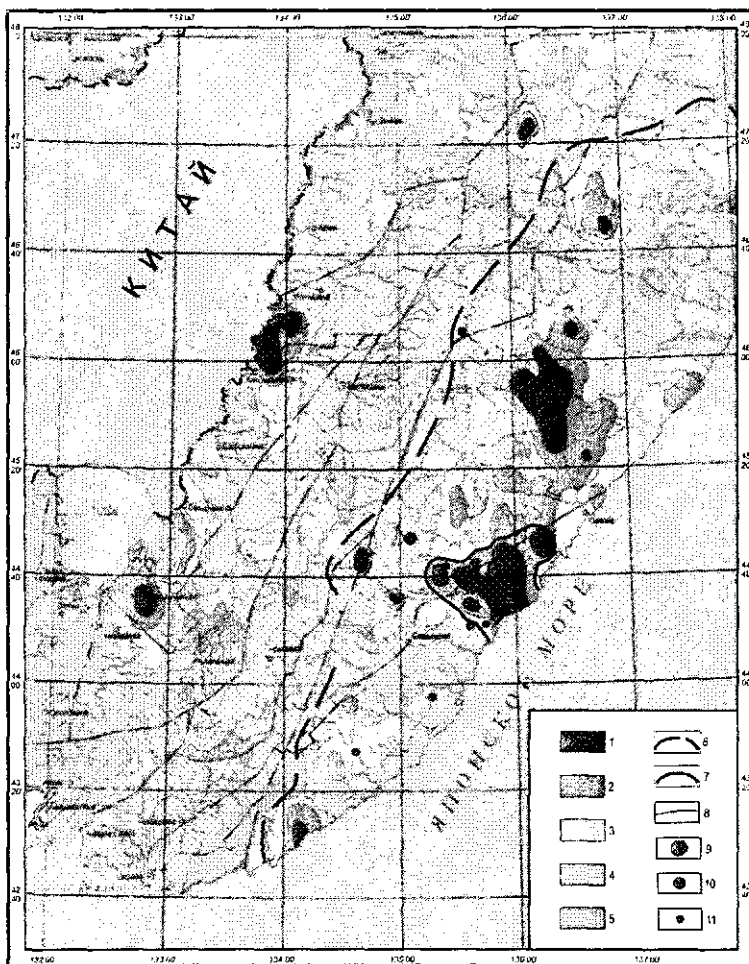


Рис. 2. Аномальные геохимические поля свинца в донных осадках речной сети Приморья: 1-6 - содержание свинца (1 - > 70, 2 - 70-47, 3 - 47-32, 4 - 32-14, 5 - < 14 г/т); 6-8 - границы (6 - геохимической зоны, 7 - Дальнегорского полиметаллического района, 8 - структурно-формационных зон); 9-11 - полиметаллические месторождения (10 - крупные, 11 - средние, 12 - мелкие)

площади наиболее надежно и контрастно выявляются путем использования показателя совместного распределения значений коэффициентов привноса-выноса ( $K_{пр}$ ) и крупности ( $K_{кр}$ ), рассчитанных в соответствии с программой "Lineament" (Загубный, 2005) по сумме эквализированных значений этих коэффициентов (рис. 2). Всего на площади Балейского рудного района (лист М-50-IV) по высоким величинам (более 180 единиц) эквализированных значений коэффициентов  $K_{пр}$  и  $K_{кр}$  обособляется 20 локальных объектов в ранге геохимических полей. При этом наибольшие значения размеров АГХП и его интенсивности обрамляют площади локализации крупных Балейского и Тасеевского месторождений.

Контрастная зональность характерна для крупного золото-серебряного сульфидного месторождения Карамкен, расположенного в Магаданской обл. России и локализованного в вулканогенных породах верхнемелового возраста ( $K_2$ ). Рудные тела сложной формы - сочетание пологих и крутопадающих. АГХП включает: Au, Ag, As, Zn, Pb, Cu, Mo, K, Rb, его размеры - 3000-4500 9000 м, имеет контрастное зональное строение (от тыловых зон к фронтальным): Mo, As → Cu, Pb, Zn, Ag → Au, Ag, As, K, Rb → Au, Ag, As → Ag, As → As.

Золото-кварцевое месторождение Мурунтау (Уз-

Таблица. Геохимические характеристики АГХП эталонных золоторудных месторождений (Россия, Чукотка), по данным Ю.Н. Николаева

Параметры и характеристики	Майское (крупное)	Сыпучее (среднее)	Каральвеем (мелкое)
Состав АГХП	$Au_{65}Sb_{28}Sn_{17}Ag_{11}As_8W_6$ $Bi_3Sr_3Zn_3Be_2Mn_2Pb_2Nb_2Cu_2$	$Au_{59}Hg_{10}Cd_4Sn_4As_4Ag_4Bi_3$ $Zn_3Pb_3Sb_2Sr_2W_2Be_2Ni_2Mn_2$	$Au_{22}Pb_6Ag_6W_4As_3Bi_3$ $Mn_3Sn_3Sr_3Zn_2Cu_2Co_2$
Площадь аномалий Au, км <sup>2</sup>	207	59	46
Удельная продуктивность, Δq — т/м/км <sup>2</sup>	0,064	0,017	0,006
Элементы-индикаторы (ЭА)	Au, Sb, As, Ag	Au, As, Ag, Zn, Pb	Au, As, W
V, %	344	164	115
ΣКс — общее	154	106	59
ΣКс — ЭА	112	73	29
ΣКс — As + Sb	36	6	3
ΣКс — As + Sb ΣКс — ЭА	0,32	0,08	0,10
Корреляция Au	Сильная с Sb и As	Отсутствует	Слабая с As

бекистан) служит эталоном уникального по запасам оруденения в черносланцевых толщах. Оно локализовано в метатерригенном комплексе (O<sub>2</sub>-S) и приурочено к узлу пересечения флексурного перегиба пород с крутопадающими разломами. Месторождение - это гигантский штокверк с сочетанием согласных и крутопадающих рудных зон. Вторичные геохимические ореолы рудного поля месторождения характеризуются большими размерами, км: длина - 12, ширина - до 5, имеют комплексный состав. Основные элементы-индикаторы: Au, As, Ag, W, Bi, Mo, U, Pt. АГХП имеет контрастное зональное строение (от тыловых зон к фронтальным): U, Mo, V - Ni, Co, Cu, W, Ag, As, Au → Zn, Pb, Ag, Sb, Ba, Hg, В.

Примером АГХП крупного по запасам месторождения, выявленного с помощью геохимических методов, является Ново-Малеевское, локализованное в северной части Ревнюшинского рудного района (Ревнюшинской антиклинальной структуры - Рудный Алтай). АГХП имеет комплексный состав (Pb, Zn, Cu, Ba, Ag, Mo, Co, Cd, Bi, As) и значительные размеры (рис. 3). На этом рисунке отображено распределение величин сумм нормированных на фон концентраций Pb, Zn, Cu (основных рудообразующих элементов колчеданно-полиметаллического типа оруденения) - показатель интенсивности ΣKa° и (в качестве коэффициента зональности Kз) отношение сумм нормированных на фон содержаний Pb, Ag и Ba к Cu, Co и Mo. Значения величины ΣKa° высоки и меняются в пределах 10-244, а Kз - в пределах 0,2-8,0.

Выявлена очень контрастная асимметричная геохимическая зональность: в лежащих (восточных) боках зон АГХП преобладают Cu, Co и Mo, а в висячих (западных) - Pb, Ag и Ba. Центральные части выявляются максимально комплексным составом и высокими значениями ΣKa° и Kз. По этой площади нами был сделан прогноз о возможности выявления по падению и склонению структур крупного полиметаллического месторождения с запасами свинца

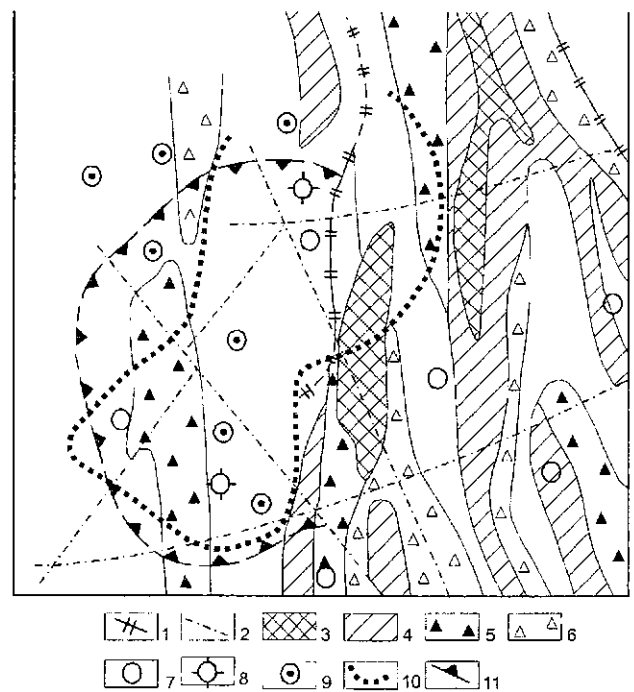


Рис. 3. Фрагмент карты геохимического прогноза северной части Ревнюшинской антиклинальной структуры (Рудный Алтай): 1 - стратиграфические контакты, 2 - разломы; 3-6 - поле разных величин Kз и ΣKa° (3 - Kз > 2, ΣKa° > 20; 4 - Kз > 2, ΣKa° < 20; 5 - Kз > 0,5-2, ΣKa° < 20; 6 - Kз < 0,5, ΣKa° < 20); 7-9 - скважины (7 - пройденные до проведения прогнозно-геохимических работ, 8 - рекомендуемые по результатам ПГХР, 9 - пройденные для проверки рекомендаций); 10 - проекция рудных тел Ново-Малеевского месторождения, по результатам прогнозно-геохимических работ; 11 - проекция рудных тел Ново-Малеевского месторождения, по результатам ГРП

и цинка 1 млн т. Последующие буровые работы подтвердили этот прогноз. Было открыто крупное Ново-Малеевское месторождение с запасами суммы свинца и цинка более 2 млн т.

Геохимические отличия АГХП крупных место-

рождений от мелких и средних хорошо видны из таблицы. Крупное золоторудное Майское месторождение, расположенное на Чукотке в России, по сравнению со средним и мелким, расположенными также на Чукотке, характеризуется более высокими показателями: комплексным составом, размерами ореолов золота, удельной продуктивностью, коэффициентом вариации, суммарными коэффициентами концентрации, отношением суммы низкокларковых х. э. к сумме основных элементов-индикаторов.

Таким образом, региональный характер АГХП и рассмотренный выше комплекс геохимических критериев являются важными во время прогнозирования площадей с уникальным минерогенетическим потенциалом, а, следовательно, месторождений-гигантов. Поэтому однозначно важна роль региональных работ масштаба 1 : 200 000 - 1 : 1 000 000, позволяющих выявлять АГХП уникальных и крупных месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений. - М.: Недра, 1992 - 309 с.
2. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходарковский И.Л. Справочник термодинамических величин. - М.: Атомиздат, 1971. - 239 с.

УДК 553.31:622.7

В.Г. ГУБИНА

## ОСОБЛИВОСТІ РЕЧОВОГО СКЛАДУ ТА РОЗПОДІЛ РЕЧОВИНИ У ХВОСТОСХОВИЩАХ ГЗК КРИВБАСУ

*Наведені результати дослідження речового, гранулометричного складу та особливостей розподілу відходів збагачення у хвостосховищах гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу. Показано, що поточні відходи збагачення переважно належать до дрібного класу крупності, лежали, відібрані у верхній частині хвостосховища - крупного. Масова частка заліза лежалих відходів має підвищене значення у фракції -0,071 мм; в поточних відходах масова частка має менше значення. В електромагнітних фракціях концентруються рідкісноземельні елементи. В процесі накопичення відходів збагачення у хвостосховищах здійснюється утворення збагачених залізом ділянок.*

#### ВСТУП

Збагачення залізистих кварцитів супроводжується великою кількістю відходів. Вихід їх для магнетитових кварцитів складає 53-65 %. Відходи збагачення представляють собою суміш технічної рідини та твердої частини: на 90-95 % рідини припадає 5-10 % твердої речовини. При цьому тверда фаза на 70-90 % складається з часток розміром < 0,005 мм. Крім цього у хвостосховища скидається шахтна вода з середньою мінералізацією 40 г/л. Проблема збільшується через те, що всі хвостосховища Кривбасу розташовані в природних балках, які не мають екранувального ложа, отже частина рідини потрапляє в підземні горизонти з прісною водою, якими живляться річки і на яких споруджені водосховища питного постачання.

За 50 років роботи гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК) у хвостосховищах Криворізького басейну накопичено близько 3,0 млрд м<sup>3</sup> відходів збагачення залізистих кварцитів, загальна маса яких складає 4,0-6 млрд т, що складає 40 % площі, порушеної гірничими роботами. Крім відходів збагачення

#### РЕЗЮМЕ

За результатами досліджень автори дійшли висновку, що рудні об'єкти можна виявляти за наявності певних критеріїв - аномальних геохімічних полів і особливостей, що генетично пов'язані з ними, важливо також враховувати розмір, структуру, зональність, присутність елементів-індикаторів, значення варіаційних коефіцієнтів тощо.

#### SUMMARY

As a result of research it was established that high-resource ore objects can be revealed from the existence of anomalous geochemical fields and characteristics genetically related to them: considerable size, contrasting structure of zonality, complex composition with mostly increasing role of low-clarke elements-indicators, high values of variation coefficients and others.

*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), г. Москва  
e-mail: golovin@imgre.ru*

ня в хвостосховищах акумульовано 0,5 млрд м<sup>3</sup> води. Вони займають загальну площу 7-10 тис. га. Вважається, що з відходами збагачення щорічно втрачається ~ 25 % заліза, серед якого 14-26 заліза загального і 5-10 % заліза, пов'язаного з магнетитом. Разом з кар'єрами хвостосховища викидають у повітря до 1 млн т поллютантів. Фільтрація води з хвостосховищ складає 15 млн м<sup>3</sup> на рік.

Нині криворізькі ГЗК складають відходи збагачення у шести хвостосховищах: балка Петрикова (Північний ГЗК), Войкове (Південний ГЗК), Об'єднане (Південний ГЗК та ГЗК Арселор Міттал Стіл), Мироліувівське (ГЗК Арселор Міттал Стіл), балка Лозоватка (Центральний ГЗК), хвостосховище Інгулецького ГЗК.

Метою даної роботи є аналіз речового складу та розподілу в хвостосховищах відходів збагачення залізистих кварцитів гірничозбагачувальних комбінатів Криворізького басейну.

Попередніми роботами, проведеними на хвостосховищах Північного, Центрального та Інгулецького комбінатів встановлено, що на придамбових ділян-