



Рис. 5. Генерал-майор инженерно-артиллерийской службы Д.Г. Бидинский (1899–1964)

нового вида вооружений. Так наш род пересекается с именем крупного военного изобретателя времен ВОВ (рис. 4).

А дальше скрещение судеб.

Герасим Васильевич Богомолов (1905–1981) родился в России в Смоленской губернии, открыл месторождения полезных ископаемых в Белоруссии, в качестве полковника инженерных войск, заместителя начальника Тыла Красной Армии закончил ВОВ в Берлине в составе Первого Украинского Фронта, лауреат Сталинских премий СССР, Государственной премии Белоруссии, орденноносец.

Давид Григорьевич Бидинский (1899–1964) родился в Украине, в Киеве, создавал вооружения залпового огня в качестве директора Военного завода в г. Пермь, генерал-майор инженерно-артиллерийской службы, лауреат Сталинской премии СССР, орденноносец.

Они не были знакомы, но их заочно познакомила Великая Отечественная война. Они сражались за Родину.

нового вида вооружений особого состава горючую смесь (впоследствии эта система залпового огня получила название «Катюша»). Этим занялся под Москвой будущий генерал-майор Давид Григорьевич Бидинский, дедушка Екатерины Богомоловой, дочери одного из авторов этой статьи и сводной сестры другого. Екатерина Юрьевна получила свое имя в честь этого вида вооружений.

В 2005 г. международная общественность водного профиля широко отмечала 100-летие со дня рождения Почетного Президента Международной ассоциации гидрологических наук (МАГН) академика Г.В. Богомолова. Его не стало в апреле 1981 г.

Незадолго при общении с женой, сыном и внуками наш отец и дед тихо, но как-то убедительно произнес: «Жизнь прожита не зря... Надо собираться в дальнюю дорогу..., а вам жить, XXI век в науке будет очень интересным» — и добавил: «...можно будет попытаться понять, как христианский дух, бессмысленный для язычников и фарисеев, победил в Римской империи и логику и право...».

Герасим Васильевич трепетно относился к своим внукам. Гулял с ними по ул. Зелинского в Москве, где дворники в те времена оставляли в маленьких зеленых домиках свой нехитрый инвентарь. Загадочным шепотом он говорил малышам, что в этих домиках живут гномики, и дети слушали, затаив дыхание... Теперь, по прошествии многих лет, наполненных противоречивыми событиями, давно повзрослевшие внуки вспоминают рассказы своего убежденного седины деда: «Как хорошо, что он нам рассказал тогда про гномиков, мы своим детям тоже говорим о тайнах невидимого вооруженным глазом мира...».

17 марта 2020 г. исполнилось 115 лет со дня рождения нашего отца и деда. Партия «Справедливая Россия» в лице ее председателя, геолога С.М. Миронова, обратилась к Министру иностранных дел РФ С.В. Лаврову с просьбой поддержать обращение российских ученых к Президенту Республики Беларусь А.Г. Лукашенко о проведении в Минске в 2020 г. Гидрогеологического съезда, посвященного 115-летию юбилею академика Г.В. Богомолова.

© Богомолов Ю.Г., Богомолов Г.Ю., 2020

Богомолов Юрий Герасимович // y.g.bogomolov@mail.ru
Богомолов Герасим Юрьевич // y.g.bogomolov@mail.ru

ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 550.422:550.84.053:553.044

Силин И.И., Килипко В.А. (ФГБУ «ИМГРЭ»), Межеловский Н.В., Межеловский И.Н. (Геокарт)

АТОМАРНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Излагается обоснование и технология вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным на основе атомарной и молекулярной моделей распределения химических элементов в верхней части континентальной

земной коры. **Ключевые слова:** атомарная модель, минеральная модель, прогноз минеральных ресурсов.

Silin I.I., Kilipko V.A. (IMGRE), Mezhelovskiy N.V., Mezhelovskiy I.N. (Geocart)

ATOMIC AND MOLECULAR ESTIMATES OF FORECAST MINERAL RESOURCES

The substantiation and technology of calculation of forecast resources on geochemical data on the basis of atomic and molecular models of distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust are stated. **Keywords:** atomic model, mineral model, forecast of mineral resources.

Существует множество оценок среднего содержания химических элементов в земной коре как в атомарной, так и в молекулярной (минеральной) формах.* Большое количество научных работ посвящено оценкам содержания элементов-примесей в минералах. Многие редкие элементы вообще не образуют собственных рудных минералов, а извлекаются попутно при добыче основных руд. Часто рудные элементы содержатся еще и в породообразующих минералах, непригодных для промышленной переработки.

Все многообразие форм существования элементов в природе по результатам спектрального анализа геохимических проб отображаются в виде атомарного содержания, существенно отличающегося от концентрации в рудных минералах. Не следует забывать [6], что рудообразующие минеральные формы только в рудах главных рудных элементов составляют основу рудного тела (РТ), а в остальных аномальных геохимических полях (АГХП) они сильно разбавлены безминеральными формами, к которым относятся: природные истинные и коллоидные растворы, газовые смеси, органическое вещество, изоморфные примеси, включения в минералах, скопления в межминеральных полостях, аморфные соединения, сорбированное состояние, внутрикристаллические, пленочные воды, пары и газы, хелаты и др. По мере удаления от РТ характерна картина последовательной смены минеральных форм микроминеральными, а затем безминеральными. Во вторичных АГХП на аккумулятивных восстановительном, кислотно-щелочном и сорбционном барьерах, в солевых наложенных ореолах и потоках рассеяния доля безминеральных форм существенно возрастает.

Тем не менее, параллельное использование геохимических атомарных и минеральных оценок позволяет выделить рудную составляющую из валового спектрального содержания элемента и тем самым иногда существенно повысить качество геохимического прогноза минеральных ресурсов.

Численная геохимическая атомарная модель основана на кларках химических элементов верхней части земной коры, опубликованных Н.А. Григорьевым в 2004 г. в журнале «Геохимия» [2]. Методика построения модели и способы ее использования для прогноза ресурсов минерального сырья опубликованы в работах [4, 5]. Коротко они сводятся к следующему.

1. В анизотропном геологическом пространстве плотность распределения аномальных геохимических проб всегда неравномерная. Она не бывает в чистом виде нормальной или логнормальной, она фрактальная, т.е. состоящая из скоплений аномальных проб, каждое из которых образует локальный фрактал. Такая структура обеспечивает соблюдение принципа аддитивности на территории всего АГХП. В локальных аномалиях при большом числе геохимических проб и большом числе элементов простейшие приближенные методы модели-

рования основываются на центральной предельной теореме: если сложить несколько независимых одинаково распределенных величин с конечной дисперсией, то сумма будет распределена приблизительно нормально.

2. Диаграмма плотности распределения содержания элемента в геохимических пробах региональной выборки имеет вид многовершинного графика с убывающей плотностью в сторону возрастания концентрации. Каждая вершина графика характеризует определенный ранг накопления рудного элемента в интервале от кларка до рудного тела. При этом дискретный ряд локальных (ранговых) скоплений проб с повышенным содержанием рудного элемента распределяется адекватно ряду чисел Фибоначчи. Порядковый номер ранга скопления определяется формулой Бине. Каждый последующий ранг региональной выборки проб характеризуется более низкой плотностью и более высокой дисперсией распределения.

3. В пределах каждого локального скопления проб (ранга) действует правило «золотого сечения», когда отношение максимального содержания к минимальному равно отношению суммы этих содержаний к максимальному.

4. Максимальное содержание элемента в АГХП текущего ранга равно минимальному следующего ранга, а сумма максимального и минимального содержаний текущего ранга равна максимальному следующего за ним ранга. Эта рекуррентная «золотая цепочка», связывающая локальные площади (объемы) АГХП и содержания элемента, является алгоритмом прогнозной оценки минеральных ресурсов низких категорий.

5. В связи с тем, что спектральный анализ на разные элементы различается по целому ряду показателей — порогу чувствительности, дискретности, контрастности, воспроизводимости, — использование статистических методов, основанных на многомерной корреляции распределения содержаний, чревато ошибками первого рода по технологическим причинам.

6. Альтернативным более простым способом оценки плотности распределения содержаний является вычисление эластичной функции распределения, связывающей объем и содержание рудного элемента (как это практикуется при разведке месторождений для определения коэффициента рудоносности). Использование эластичной функции плотности распределения рудных проб является основой локального геохимического прогноза ресурсов высоких категорий.

Численная молекулярная (минеральная) модель АГХП использует данные о распределении в верхней земной коре максиминералов — химически наиболее активных инвесторов рудных элементов, приведенные в книге Н.А. Григорьева [3]. По словам автора, все данные о роли минералов в качестве концентраторов и носителей химических элементов, хотя и нуждаются в уточнении, но могут быть использованы в любой новой, более совершенной модели строения верхней части континентальной коры (Н.А. Григорьевым принята модель слоистой коры А.Б. Ронова, А.А. Ярошевского, А.А. Мигдисова, 1990 г.). Нами эти сведения

* В статье понятия атомарный и спектральный используются как синонимы, то же — молекулярный, максиминеральный и рудный.

Таблица 1
Распределение Cu в верхней коре по атомарной и молекулярной моделям

Вид оценок содержания элемента, г/т	К	ПМП	МП	МО	МЗ	РР	РУ	РП	РМ	РТ
$C_{\text{атомарная модель}}$	39	78	126	204	330	535	865	1399	2264	3664
$C_{\text{, атомарная модель}}$	0,5	0,9	1,5	2,4	3,9	6,3	10,3	16,6	26,9	43,5
$C_{\text{м халькопирита, атомарная модель}}$	0,4	0,8	1,2	2,0	3,2	5,2	8,4	13,6	22,1	35,7
$C_{\text{м максиминералов, молекулярная модель}}$	0,5	0,9	2,6	7,4	20,7	58,5	165,0	465,2	1312,0	3699,7
$C_{\text{м халькопирита, молекулярная модель}}$	0,4	0,8	2,3	6,6	18,9	54,3	155,8	447,1	1283,1	3682,5
$K_{\text{См}} = C_{\text{мол}}/C_{\text{атом}}$	0,01	0,01–0,01	0,01–0,02	0,02–0,04	0,04–0,06	0,06–0,11	0,11–0,19	0,19–0,33	0,33–0,58	0,58–1,0
$K_{\text{Ср}}$	0,01	0,01–0,02	0,02–0,03	0,03–0,06	0,06–0,09	0,09–0,15	0,15–0,24	0,24–0,38	0,38–0,63	0,63–1,0

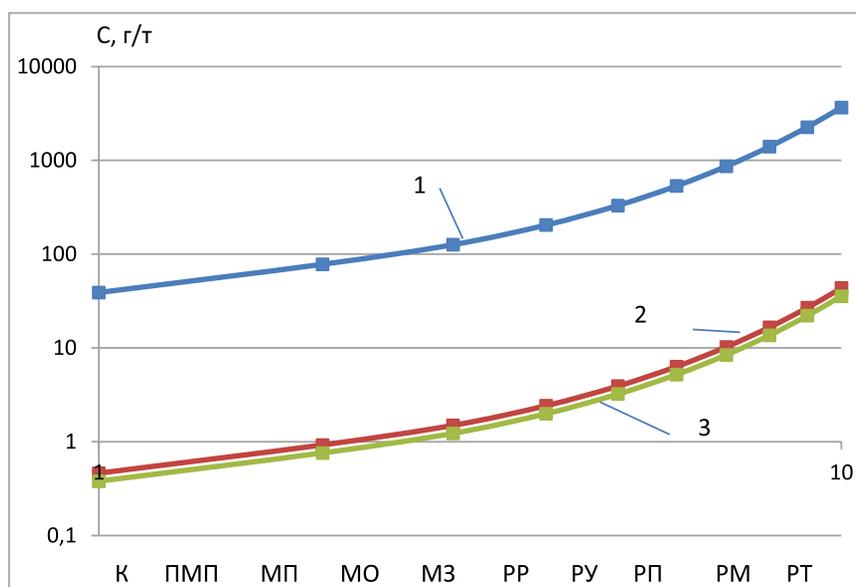


Рис. 1. Диаграмма атомарной модели распределения содержания Cu по рангам АГХП: в верхней коре (1), в максиминералах (2), в халькопирите (3)

использованы для пересчета содержания элементов в максиминералах соответствующих рангов по атомарной геохимической модели верхней части континентальной коры, соответствующей плюмо-плитной тектонической модели, описанной в работе [5]. Построенная таким образом молекулярная модель, по сравнению с атомарной моделью, существенно занижает содержание элементов в АГХП ранних рангов и, наоборот, увеличивает в рудных полях и месторождениях (табл. 1, рис. 1), что в целом более точно отражает существующую реальность.

Вычисление прогнозных ресурсов на основе кларков и средних содержаний в максиминералах верхней коры показало столь большую разницу, что возникла необходимость подробнее рассмотреть причины несоответствия. По описанным выше причинам кларк земной коры содержит лишь небольшую часть минерального вещества, которую можно принять за планетарный рудный фон. В рудных телах аналитическое содержание главного элемента можно

считать полностью минеральным. В этом случае распределение рудного вещества по рангам планетарной геохимической модели можно рассматривать как геометрическую функцию, описывающую динамику изменения содержания рудного элемента в максиминералах в интервале от нижеаномального уровня (ПМП) до рудного тела (РТ), т.е. между зонами рассеянной минерализации (ЗРМ) и зонами концентрированной минерализации (ЗКМ). Для этого нужно определить знаменатель геометрической прогрессии, заданной содержанием элемента в ПМП и в РТ. Формула для вычисления знаменателя (q) имеет вид:

$$q^{n-1} = \frac{C_p}{2C_m}; \quad q = \left(\frac{C_p}{2C_m}\right)^{1/n-1};$$

где C_p — содержание элемента в РТ (по атомарной модели); $2C_m$ — удвоенное содержание элемента в максиминералах верхней коры (нижеаномальное значение планетарного геохимического поля), n — число членов ряда, использованного в прогрессии. По атомарной модели $n=9$ (интервал ПМП — РТ).* Распределение элементов по молекулярной модели приведено в табл. 1 и показано на рис. 2. Видно, что в сторону молодых рангов доля минеральной формы элемента резко возрастает. На рис. 3, где совмещены диаграммы рис. 1 и 2, вся площадь атомарной диаграммы характеризует суммарное (атомарное и молекулярное) накопление элемента, площадь ниже молекулярной диаграммы — минеральную составляющую накопления суммы максиминералов (2)

* Число n может быть меньше или больше 9, например, у Fe по атомарной модели промышленное содержание возникает в РР-РП, а у многих РЭ — за пределами модельного РТ, что условно можно приравнять к обогащенным участкам или малым формам рудных тел (линзам, штокам, гнездам, карманам и др.), либо технологическому обогащению.

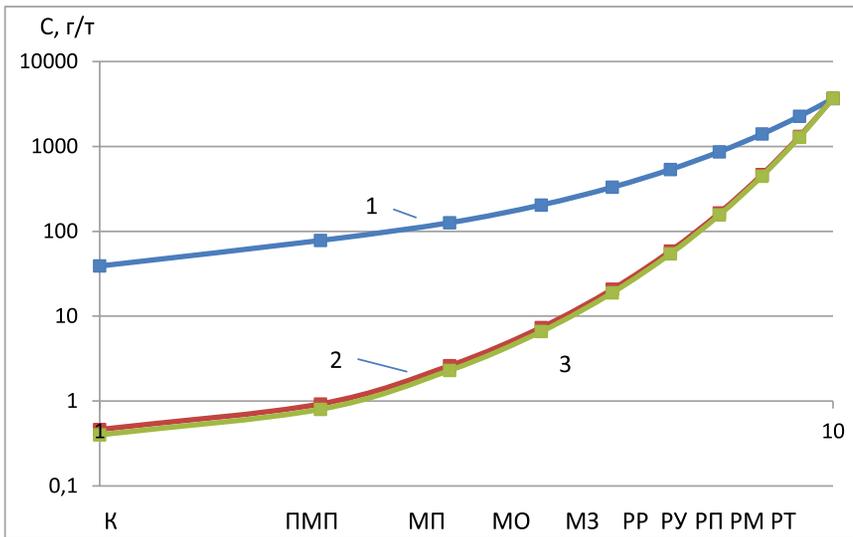


Рис. 2. Диаграмма молекулярной модели распределения содержания **Cu** по рангам АГХП: в верхней коре (1), в максиминералах (2), в халькопирите (3)

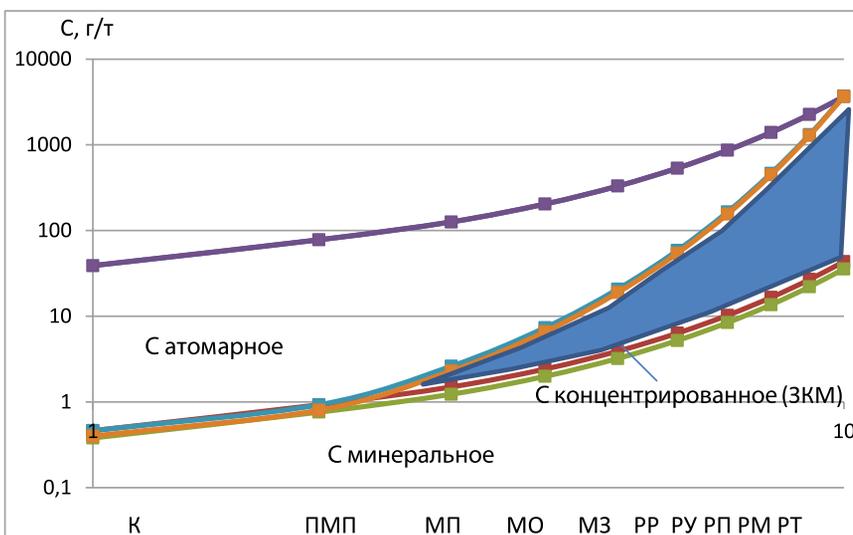


Рис. 3. Совмещенные диаграммы рис. 1 и 2. Залита зона концентрированной минерализации (ЗКМ)

и отдельно главного минерала медных руд — халькопирита (3). Залитая область характеризует концентрированную минерализацию, образованную в результате преобразования атомарных, безминеральных форм из ЗРМ в ЗКМ.

В нижних строках табл. 1 приведены значения коэффициентов промышленной рудоносности АГХП, рассчитанных по атомарной (K_{Cp}) и минеральной ($K_m = C_{\Sigma \text{ макс}} / C_{\text{ атом}}$) моделям. Коэффициенты численно близки в РТ и значительно отличаются в начальных рангах. Замечательным свойством минеральной модели является экспоненциальный рост содержания элементов в АГХП рангов РУ–РМ, что обусловлено локальными геохимическими процессами преобразования рассеянного оруденения в концентрированное.

Экспериментальная проверка моделей. Далее в качестве примера приведены результаты оценки прогноз-

ных ресурсов по атомарной и молекулярной моделям, основанные на результатах ГХО-1000 южной части листа Q-46. Схема интерпретации результатов донного опробования этого участка, показанная на рис. 4, заимствована из работы [4] с небольшими дополнениями.

В целом по результатам донного опробования территории листа Q-46, геохимическая специализация АГХП этой территории определяется как двухэтапный процесс, первый из которых связан с внедрением сибирских траппов, второй — с поступлением постмагматических низкотемпературных гидротермальных растворов (возможно с мезозойской активизацией периферии пермского очага). Динамика накопления рудных элементов отражена в табл. 2, где основные элементы траппов (Fe Ni V Cr Ni Co Cu Zn) образуют АГХП ранга МП–МО, а элементы редкометалльной группы (Sb As Ag Ag Mo Cd) — АГХП ранга РР–РМ.

В табл. 3 приведена статистика всех 1259 донных проб, отобранных на территории листа. В соответствии трапповой специализации геологических формаций сидерофильные и халькофильные элементы образуют АГХП, в которых содержания превышают кларки земной коры в 1,5–2 раза, а максимальное накопление в отдельных пробах также в 1,5–2 раза превышает средние значения. Содержание элементов редкометалльной группы, наоборот всегда ниже кларка верхней коры, тогда как в локальных потоках рассеяния на этой территории оно выше фона в десятки и сотни раз. Такое распределение элементов позволяет осторожно высказать предположение, что источником всех редкометалльных месторождений Восточной Сибири (в первую очередь золота) является периферия гигантского плюма — генератора сибирских траппов. Месторождения сурьмы, вероятно, формировались из низкотемпературных гидротермальных растворов, имевших парагенетическую связь с производными базальтоидной магмы. Ближайшие месторождения сурьмы — золотосурьмяные Сарылах и Сентачан — расположены в Якутии. Известны также запасы сурьмы на месторождении Олимпиада Енисейского Кряжа.

Подсчет прогнозных ресурсов по атомарной модели производился поэлементно по формуле: $Q = S \cdot H \cdot K_{Sp} \cdot d \cdot C_p$, где Q, т — прогнозны ресурсы с промышленным содержанием C_p (берется по атомар-

ной модели); $S, \text{ м}^2$ — площадь АГХП; $H, \text{ м}$ — подвеска на глубину прогноза; K_{Sp} — коэффициент промышленной рудоносности (берется по атомарной модели); $d, \text{ т/м}^3$ — объемный вес руды; $C_p, \text{ г/т}$ — расчетное содержание элемента в руде.

Подсчет ресурсов по молекулярной модели производился по формуле:

$Q = S \cdot H \cdot K_{\text{Sp}} \cdot d \cdot C_m$, где $Q, \text{ т}$ — прогнозные ресурсы с промышленным содержанием; $S, \text{ м}^2$ — площадь

АГХП; $H, \text{ м}$ — подвеска на глубину прогноза; K_{Sp} — коэффициент промышленной рудоносности (берется по атомарной модели, но кратно C_m); $d, \text{ т/м}^3$ — объемный вес руды; $C_m, \text{ г/т}$ — содержание элемента в руде по молекулярной модели.

Поскольку размеры региональных АГХП составляют тысячи и миллионы квадратных километров, то на территорию стандартного листа ГХО-1000 обычно попадает только небольшая часть региональных

Таблица 2

Ранговая специализация вторичного АГХП листа Q-46 по результатам опробования донных отложений, ICP, г/т

Ранги АГХП	Be	P	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Hf	Ta	W	Au	Pb
К	2,1									19			9				3		3,1					
ПМП		926										2,4									2,7			
МП				306		94280		135		182												6,8		52
МО			502		2412		55		141															
МЗ																								
РР																	3,0							
РУ														2,4										
РП																3,6							0,2	
РМ													231											
РТ																			93					

Таблица 3

Статистика распределения содержания элементов в донных пробах листа Q-46, г/т

Параметры	P	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	As
Количество проб, N	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259
Минимум, C_{min} :	0,0	0,0	66,0	53,0	0,0	18,7	41,9	18,8	33,1	1,1	1,0
Максимум, C_{max}	926,0	501,8	306,4	2412,1	94279,9	54,6	135,0	141,4	182,2	2,4	230,8
Среднее, \hat{C}	464,5	253,7	194,0	1285,0	55773,9	38,6	82,6	69,6	89,6	1,7	3,3
Ср. кв. откл., ΔC	108,8	51,1	38,5	285,7	11428,6	6,0	14,6	22,0	17,1	0,2	11,2
$C_a = \hat{C} + 3 \Delta C$	791,0	407,0	309,5	2142,1	90059,7	56,6	126,4	135,5	140,9	2,3	36,9
$K_c = C_{\text{max}} / \hat{C}$	2,0	2,0	1,6	1,9	1,7	1,4	1,6	2,0	2,0	1,4	69,9
n_аномальных проб	6	9	0	3	3	0	2	1	12	1	9
Кларк верхней коры, K	610,0	120,0	150,0	670,0	40600,0	17,0	62,0	39,0	78,0	1,3	6,5
\hat{C}/K	0,76	2,11	1,29	1,92	1,37	2,27	1,33	1,78	1,15	1,33	0,51
Параметры	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ta	W	Au	Pb	Be
Количество проб, N	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259	1259
Минимум, C_{min} :	1,0	0,1	0,005	0,041	0,518	0,079	0,01	0,098	0,001	0,9	0,117
Максимум, C_{max}	9,2	2,4	3,6	0,5	3,0	92,8	2,7	6,8	0,1	51,7	2,1
Среднее, \hat{C}	3,8	0,39	0,03	0,13	0,83	0,46	0,17	0,20	0,003	3,0	0,4
Ср. кв. откл., ΔC	0,6	0,13	0,10	0,03	0,15	4,18	0,15	0,23	0,006	2,6	0,1
$C_a = \hat{C} + 3 \Delta C$	5,6	0,8	0,3	0,2	1,3	13,0	0,6	0,9	0,02	11,0	0,9
$K_c = C_{\text{max}} / \hat{C}$	2,4	6,3	116,2	3,8	3,6	202,3	15,7	33,6	51,8	17,0	4,8
n_аномальных проб	13	8	2	16	15	8,0	24,0	13,0	37,0	11	12
Кларк верхней коры, K	12,0	1,5	0,13	0,3	3,8	1,2	1,4	2,5	0,0	17,0	2,1
\hat{C}/K	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2

структур. Подсчет прогнозных ресурсов региональных АГХП фактически выполняется для отдельных обогащенных участков, расположенных внутри опробованной территории. Результаты вычислений могут быть распространены на всю металлогеническую область, полная площадь которой выделяется на более мелкомасштабной карте.

На рис. 5 показан фрагмент рис. 4 (район контрастной аномалии Sb, выделенной полужирным контуром) — схема оконтуривания АГХП отдельных элементов при вычислении прогнозных ресурсов низких категорий. На каждом АГХП черными пунктирными линиями изображены возможные формы источников аномальных потоков рассеяния: залежи и секущие зоны.

Наиболее контрастные аномалии Sb и As расположены в бассейне р. Кочумдек. Водотоки рудного узла размывают аргиллиты, габбро, туфы основного состава, реже — песчаники. С востока к рудному узлу примыкает АГХП МО V (Ti), оконтуренное на водоразделе рек Ниж. Хакили — Тутончана. Далее к юго-востоку (за пределами рисунка) выделено АГХП МО Cu. Южнее сурьмяной территории, на правом берегу р. Кочумдек, расположено слабоконтрастное АГХП МО Au. Оценка прогнозных ресурсов этих АГХП приведена в табл. 4.

Аномальное поле Sb образуют 4 пробы, отобранные в устьях левых притоков 2-го порядка, расположенных на интервале 5–7 км друг от друга (рис. 2). Площадь АГХП составляет 283 км². Содержание Sb в аномальных пробах (с запада на восток, г/т): 16, 93, 39, 85; содержание As соответственно — 230, 114, 230, 36. Содержание других элементов ниже кларка земной коры. Элементный состав и содержание Sb в аномалии позволяет предполагать, что это месторождение телуртермального джаспероидно-антимонитового типа [6]. На рис. 2 видно, что расположение аномальных проб Sb, As позволяет предполагать как пластовую, так и секущую морфологию источников аномалии. Не исключено также вторичное обогащение донных отложений путем сорбции на глинистых частицах, т.к. размеры молекул As и Sb близки, а экзогенная

устойчивость минералов одинаково низкая. Это подтверждается высоким коэффициентом корреляции содержания Sb и As в аномальных пробах, равным +0.94.

Прогнозные оценки по атомарной и молекулярной моделям показали весьма сильное расхождение. По атомарной модели ресурсы Sb составили 382 тыс. т, по молекулярной только 30 тыс. т; As — соответственно 839 и 32 тыс. т. По-видимому, на разницу в оценках повлияли следующие факторы: слишком малая доля этих элементов в максиминералах, вторичная сорбция в потоках рассеяния и понижение ранга АГХП по молекулярной модели по сравнению с атомарной на порядок.

Высокой оказалась разница оценок ресурсов Au: по атомарной модели ресурсы равны 1 т, по молекулярной — 100 кг.

Более простыми кажутся оценки АГХП рассеянного ванадия, которые характеризуются повсеместным обогащением донных осадков водотоков междуречья Ниж. Хакили — Тутончана (рис. 5). Подсчет ресурсов V, который накапливается исключительно как примесь в титаномагнетите, предполагает количественную оценку минерала-носителя, однако в данном случае Ti лабораторией не определялся. Прямой рас-

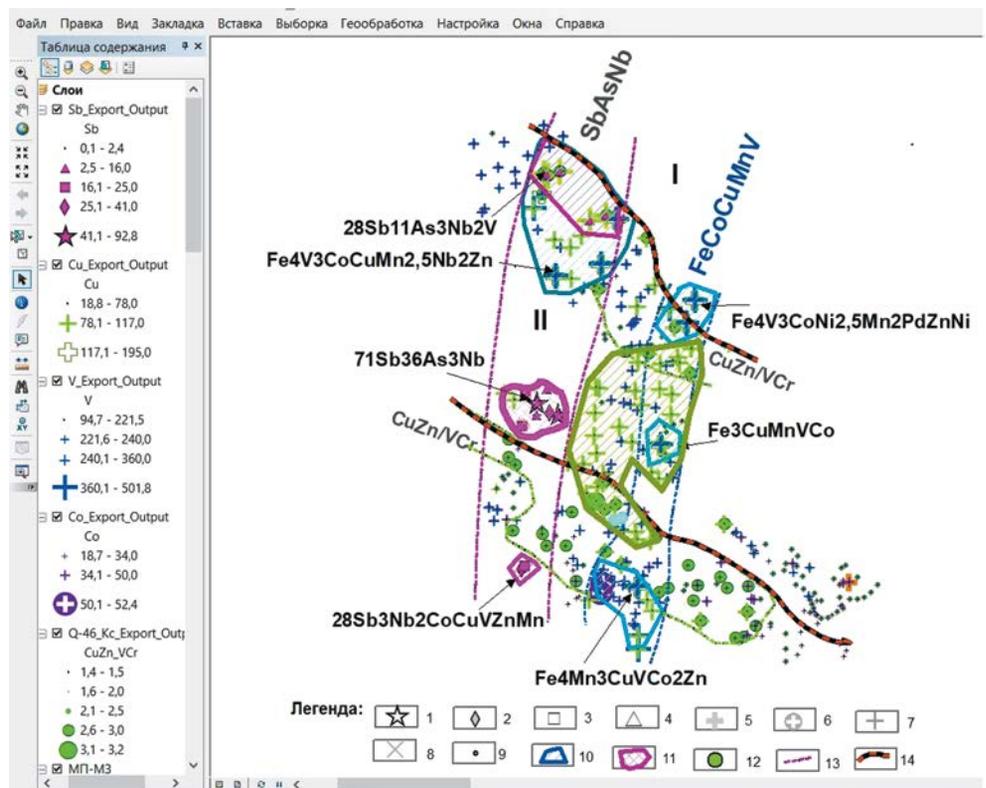


Рис. 4. Вид данных (экран монитора) карты-разности, составленной по рангам атомарной модели по результатам донного опробования участка сибирских траппов в бассейне Нижней Тунгуски с элементами интерпретации: 1–8 — ранги АГХП: 1 — РМ, РТ; 2 — РП; 3 — РУ; 4 — РР; 5 — МЗ; 6 — МО; 7 — МП; 8 — ПМП; 9 — Кк.; 10 — площадная аномалия ранга МП-МЗ; 11 — площадная аномалия ранга РР-РМ; 12 — индикатор халько (CuZn)-оксисидерофильной (VCr) обстановки среды рудообразования; 13 — границы МЗ. Состав АГХП показан в Кк.; 14 — пограничные разломы блоков земной коры с разной геохимической специализацией: I — Путоранский блок основных пород (базальты, диабазы, габбро), II — Нижнетунгусский блок туфо-осадочных пород (туфы, песчаники, сланцы, карбонатные породы)

Таблица 4
Примеры оценки прогнозных ресурсов по потокам рассеяния, участок листа Q-46

Металл		Ранг АГХП, имя	S, км ²	H, км	Смах, г/т	K _{Sp}	D, т/м ³	Ср, г/т	Q, тыс. т
1.	2.	АГХП редкометалльных элементов послетрапповой (мезозойской ?) активизации							
Sb, атомарная модель		РУ, бассейн р. Кочумдек	283	0,5	92	0,01	2,7	100	1382
Sb, молекулярная модель			283	0,5	0.04	0,0001	2,7	79,8	3
As, атомарная модель		РУ, бассейн р. Кочумдек		0.5	231	0.01	2.7	230	879
As, молекулярная модель			283	0.5	3.9	0.0001	2.7	83	3.2
Au, атомарная модель		МО, бассейн р. Кочумдек	151	0.5	0.02	0.00001	2.7	0.6	0.001
Au самородное			151	0,5	0.01	0,000001	2,7	1,1	0,0002
3.	4.	АГХП сидеро-халькофильных элементов палеозойской (трапповой) активизации							
V, атомарная модель		МО, рр. Ниж. Хакили-Тутончана	632	0.5	503	0.00001	2.7	6600	56.3
V в титаномагнетите			632	0,5	3	0,000001	2,7	6967	23.8
Cu, атомарная		МО, р. Тутончана	2761	0,5	195	0,00001	2,7	3664	137
Cu, молекулярная модель			2761	0,5	2.4	0,000001	2,7	3670	13.7

чет по геохимической атомарной модели показывает наличие в АГХП водораздела рек Ниж. Хакили — Тутончана 56,3 тыс. т V с содержанием 6,6 кг/т (по модели ранг МО). Содержание V в титаномагнетите по молекулярной модели равно 7 кг/т. Это соответствует рангу МП, что на порядок понижает коэффициент промышленной рудоносности АГХП, поэтому прогнозные ресурсы составили 23,8 тыс. т. Расхождение между оценками ресурсов по атомарным и минерогенетическим параметрам составило 42 % — $(23,8/56,3) = 0,42$.

Результаты вычисления прогнозных ресурсов Cu в АГХП МО, расположенной в бассейне р. Тутончана (за пределами рис. 5), выполненного по двум моделям, показали десятикратное расхождение (137 и 14 тыс. т), обусловленное понижением ранга аномалии по молекулярной модели до МП.

Заключение

Анализ атомарного и молекулярного распределения химических элементов в верхней континентальной коре с целью прогноза минерального сырья показал следующее.

1. Массовый спектральный анализ геохимических проб, используемый при геохимических съемках и поисках, суммирует содержание всего многообразия минеральных и неминеральных (примесных) форм

существования элементов в земной коре, поэтому лишь частично характеризует вероятную долю промышленно ценной составляющей в АГХП.

2. Для вычисления промышленно значимых прогнозных ресурсов низких категорий по данным общего спектрального анализа геохимических проб необходимо подготовить модель распределения химических элементов в рудообразующих минералах в соответствии рангам геодинамической классификации АГХП.

3. Для вычисления прогнозных ресурсов при среднemasштабных геохимических съемках и поисках необходимо подготовить минеральные модели определенных геологических и рудных формаций, сбалан-

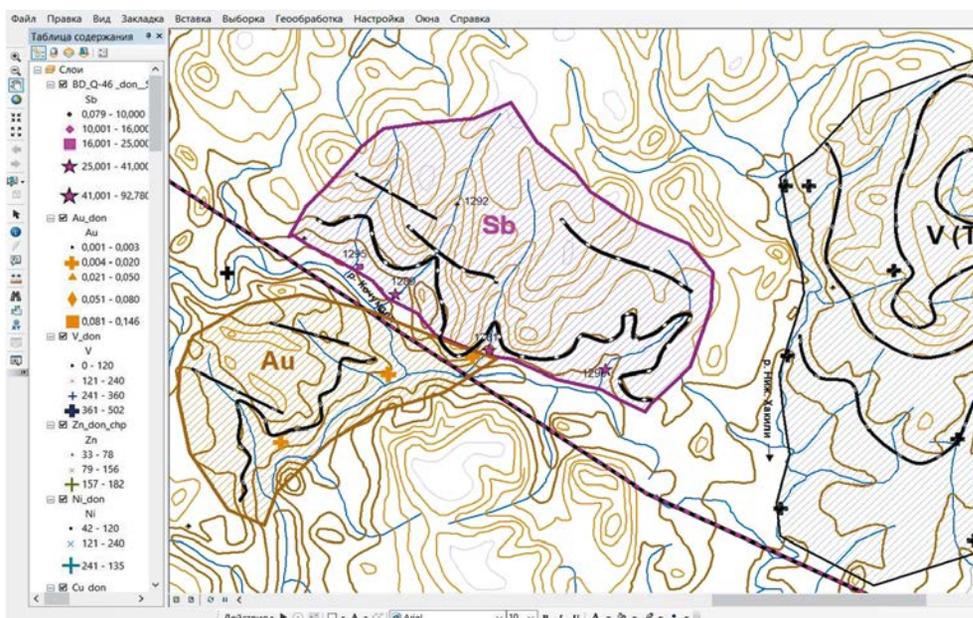


Рис. 5. Схема оконтуривания АГХП Sb, V (Ti), Au для оценки прогнозных ресурсов низких категорий. Черными линиями на АГХП показаны возможные формы источников аномальных элементов (залежи, секущие зоны). Снимок экрана. Программа ArcGis

сированные с локальными моделями промышленных типов известных рудных месторождений [5, гл. 7].

4. Как показал сравнительный анализ результатов вычисления ресурсов АГХП, выполненных по атомарной и молекулярной (минеральной) моделям, использование сведений о минеральном составе руд позволяет существенно повысить качество прогноза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова / В.В. Иванов. — М.: Недра, 1966. — Кн. 3: Редкие р-элементы. — 352 с.
2. Григорьев, Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры / Н.А. Григорьев // Геохимия. — 2003. — № 7. — С. 785–792.
3. Григорьев, Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры / Н.А. Григорьев. — Екатеринбург: УрО РАН, 2009. — 371 с.
4. Силин, И.И. Прогноз минеральных ресурсов на основе численной модели аномального геохимического поля континентальной земной коры / И.И. Силин, В.А. Килипко, И.Н. Межеловский // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 7. — С. 3–10.
5. Силин, И.И. Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений: методическое руководство / Под ред. Н.В. Межеловского / И.И. Силин, Н.В. Межеловский и др. — М.: Геокарт, GEOS, 2019. — 375 с.
6. Соловов, А.П. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

© Коллектив авторов, 2020

Силин Игорь Иванович // igorivsil@yandex.ru
Килипко Виктор Алексеевич // kilipko@rambler.ru
Межеловский Николай Васильевич // centergeokart@mail.ru
Межеловский Илья Николаевич // centergeokart@mail.ru

УДК 553.5:549 (64)

**Петроченков Д.А. (МГРИ-РГГРУ), Иоспа А.В.,
Кривошёков Н.Н. (ФГБУ «ВИМС»)**

СРЕДНЕЮРСКИЕ ЮВЕЛИРНЫЕ АММОНИТЫ МАРОККО. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ, ГЕМОЛО- ГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Аммониты ювелирно-поделочного качества из Марокко в течение длительного времени в больших объемах поступают на мировой рынок, включая российский. В статье впервые представлены результаты детальных минералогических исследований среднеюрских аммонитов ювелирного качества из Марокко. Аммониты состоят преимущественно из гётита от 26 до 94 масс. % и кальцита от 1 до 56 масс. %, в значительных количествах присутствует барит от 2 до 20 масс. %; установлены гематит, кварц, хлорит, каолинит, фторопатит, целестин, доломит, диоксид титана, циркон, монацит и рентгеноаморфная фаза. Монацит — вторичный минерал, образовался после гётита, выполняя в нем пустотки. Арагонит, образующий исходную раковину аммонита, не обнаружен. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb. По декоративным и технологическим характеристикам

*среднеюрские аммониты Марокко являются высококачественным ювелирным материалом. **Ключевые слова:** аммонит, ювелирное сырье, юрские отложения, гематит, кальцит, монацит, Марокко.*

Petrochenkov D.A. (MGRI), Iospa A.V., Krivoshchekov N.N. (VIMS)

MIDDLE JURASSIC JEWELRY AMMONITES OF MOROCCO. MINERAL COMPOSITION, GEMMOLOGICAL CHARACTERISTICS

*Ammonites of jewelry-ornamental quality from Morocco for a long time in large volumes enter the world market, including the Russian. The article presents for the first time the results of detailed mineralogical studies of Middle Jurassic jewelry-grade ammonites from Morocco. Ammonites consist mainly of goethite from 26 to 94 wt. % and calcite from 1 to 56 wt. %, in significant quantities, barite is present from 2 to 20 wt. %; hematite, quartz, chlorite, kaolinite, fluorapatite, celestine, dolomite, titanium dioxide, zircon, monazite and the X-ray amorphous phase have been identified. Monazite is a secondary mineral formed after goethite, performing voids in it. Aragonite, forming the initial shell of ammonite, was not found. Of the impurity elements, increased contents of V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb are recorded. According to the decorative and technological characteristics, the Middle Jurassic ammonites of Morocco are high-quality jewelry material. **Keywords:** ammonite, jewelry raw materials, Jurassic deposits, hematite, calcite, monazite, Morocco.*

Аммониты входят в группу биоорганических ювелирно-поделочных материалов и широко используются в качестве интерьерных образцов для изготовления сувенирных и ювелирных изделий [2, 4]. На мировом рынке в больших объемах представлены аммониты ювелирно-поделочного качества из Марокко. Основной объем аммонитов связан с верхнедевонскими отложениями, из которых изготавливают широкий ассортимент изделий, сувениров и в относительно небольших количествах кабошоны для ювелирных изделий [3]. В последнее десятилетие на мировом рынке появились марокканские аммониты небольшого размера ювелирного качества с характерной контрастной желтовато-оранжевой, коричневой и черной окраской из среднеюрских отложений.

Регион слабо изучен и в научной литературе о местах добычи аммонитов, стратиграфии отложений приводятся отрывочные сведения [6–11]. Отсутствует информация о минералогии аммонитов. В данной работе приведены результаты детальных минералогических исследований среднеюрских аммонитов, представляющих интерес в качестве ювелирного материала.

Аммониты ювелирного качества связаны с отложениями ааленского яруса средней юры. Отложения яруса, мощностью 450–1500 м, представлены мергелем с прослоями известняков. В отложениях присутствует большое количество родов подотряда Ammonitina, а также аммониты подотряда Lytoceratina [8, 10]. Месторождение среднеюрских аммонитов расположено в