

до 30 мкм ГЖВ с газовым пузырьком, составляющим 30–60 % от объема включения. Форма включений — отрицательный кристалл, треугольной, трапецевидной, ромбовидной, овальной, каплевидной или четырехугольной формы с ровными, ступенчатыми и изогнутыми краями. ГЖВ гомогенизировались в жидкую фазу. Самая низкая температура — 167 °С, самая высокая — 314 °С (без учета температурной поправки). Гомогенизация в 3-х фазных ГЖВ проходит в 2 этапа: первый — 25,5–31 °С; второй — 286–301 °С. Массовая гомогенизация ГЖВ наступала при температурах от 250 до 300 °С. Температуры эвтектики во включениях варьируют от –23,7 ÷ –29,0 °С, что близко к солевой системе NaCl [2]. Температура плавления льда в растворе не превышает –3,8 ÷ –0,8 °С. Согласно фазовой диаграмме системы NaCl–H₂O соленость водной фазы флюида колеблется от 1,4 до 6,2 масс. %, NaCl-экв [6].

Интервал температур эвтектики по криотермометрическим исследованиям составляет –23,4–27,6 °С, что близко к солевой системе NaCl [2]. Температура плавления льда в растворе не превышает –5,1 °С (табл. 1).

Согласно фазовой диаграмме системы NaCl–H₂O соленость водной фазы флюида колеблется от 3,9 до 7,5 масс. % NaCl-экв [7]. Максимальная температура гомогенизации с учетом поправки на давление составляет 231–305 °С. Для основной массы ГЖВ гомогенизация наступает при температурах 250–270 °С.

В зернах серого кварца исследованы первичные и первично-вторичные газово-жидкие включения. Они имеют форму четких отрицательных кристаллов с частично гранными и частично полукруглыми и неровными фазовыми границами. Размер включений колеблется от 5 до 20, реже до 30 мкм. Наполнение газовыми пузырьками в пределах 10–30 %. Изучались двух- и трехфазные включения размером более 5 мкм.

Выделено 2 типа газово-жидких включений: трехфазные — темная жидкость, прозрачная светлая жидкость + подвижный газовый пузырек; двухфазные (наиболее распространенные) — водно-солевой раствор + газовый пузырек. Обнаружены 3 газово-жидких включения углекислотного состава. ГЖВ приурочены к трещинам и образуют цепочки и поля. Форма прямоугольная, квадратная, ромбовидная, изометричная, овальная, каплеобразная, удлинённая, нередко с неровными очертаниями.

Интервал температуры эвтектики по криотермометрическим исследованиям составляет 23,7–26,0 °С. Это характерно для хлоридных растворов, близких к солевой системе NaCl. Возможно, понижение температуры эвтектики обусловлено содержанием железа в образце. Температура плавления последнего кристаллика льда не превышает 3,6–0,1 °С. Согласно фазовой диаграмме системы NaCl–H₂O соленость водной фазы колеблется от 0,2 до 5,9 масс. % NaCl-экв [6].

Газово-жидкие включения гомогенизировались в жидкую фазу. Максимальная температура гомогенизации составляет +356 °С, минимальная — +192 °С. Основная масса ГЖВ гомогенизовалась при температурах 241–257 °С.

Выводы

Кварцевые жилы месторождения образовались в процессе заполнения открытых трещин в массиве гранита. После формирования кварцевых жил гранитный массив вместе с жилами был подвергнут деформации, результаты которой проявлены как в граните, так и в кварце.

Температура образования кварцевых жил 300–360 °С. Перекристаллизация кварца в процессе объемной деформации происходила при температуре 200–270 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анфилов, В.Н. Геологическое строение, петрография и генезис кварцевого месторождения Гора Хрустальная / В.Н. Анфилов, Л.Я. Кабанова, М.А. Игуменцева, Н.К. Никандрова // Отечественная геология. — 2017. — № 1. — С. 68–74.
2. Борисенко, А.С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии / А.С. Борисенко // Геология и геофизика. — 1977. — № 8. — С. 16–28.
3. Бурьян, Ю.И. Кварцевое сырье — важнейший вид минеральных ресурсов для высокотехнологических отраслей промышленности / Ю.И. Бурьян, Л.А. Борисов, П.А. Красильников // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 10. — С. 9–12.
4. Игуменцева, М.А. Кварц жилы № 175 Кыштымского месторождения гранулированного кварца (Южный Урал) как эталон для оценки качества кварцевого сырья / М.А. Игуменцева, В.Г. Кузьмин, В.Н. Анфилов, Л.Я. Кабанова, В.М. Рыжков, М.В. Штенберг, Р.Т. Зайнуллина // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 5. — С. 48–53.
5. Игуменцева, М.А. Кварц Кыштымского и Кузнецкинского месторождений: состав, структура, технологические свойства / М.А. Игуменцева. — Екатеринбург: УрО РАН, 2012. — 167 с.
6. Реддер, Э. Флюидные включения в минералах / Э. Реддер. — М.: Мир, 1987. — Т. 1. — 365 с.
7. Bodnar, R.J. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions / R.J. Bodnar, M.O. Vityk // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena. — 1994. — P. 117–130.

© Коллектив авторов, 2019

Кабанова Лариса Яковлевна // kablar@mineralogy.ru
Игуменцева Мария Александровна // maria@mineralogy.ru
Никандрова Надежда Константиновна // nikandrova@ilmeny.ac.ru
Анфилов Всеволод Николаевич // anfilogov@mineralogy.ru
Рыжков Вячеслав Михайлович // ryzhkov@mail.ru

УДК 550.84: 523.21

Соколов С.В. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА СТАДИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

С критических позиций рассмотрены методики оценки прогнозных ресурсов, отраженные в действующих нормативно-методических документах. Предлагаемая авторами методика в отличие от «инструктивной» предусматривает оценку ресурсов рудных объектов старших рангов с учетом доли кондиционного металла, а также на основе теоретически обоснованной и практически широко апробированной системы выбора параметров и характеристик аномалий и прогнозируемого оруденения. Получаемые с ее использованием оценки ресурсов значительно в большей степени, чем «инструктивные» адекватны поисковым и разведочным данным. **Ключевые слова:** аномальное геохимическое поле, прогнозные ресурсы кат. Р₃.

*Methods of forecast resources assessment reflected in the current normative methodological documents are considered in terms of the critical approach. The method proposed by the authors, unlike the one, taken from the instruction, provides for the assessment of resources for higher-ranks ore objects, taking into account the share of commercial metal as well as on the basis of the theoretically grounded and practically widely tested system of parameters selecting as well as selecting of characteristics for anomalies and predicted mineralization. Resource assessments obtained with use of the method proposed are much more adequate to the prospecting and exploration data than the one, taken from the instruction. **Keywords:** anomalous geochemical field, speculative resources of P_3 category.*

На стадии регионального геологического изучения при оценке прогнозных ресурсов ведущая роль по праву принадлежит литохимической съемке по потокам рассеяния масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000, так как именно данные опробования аллювия, характеризующие бассейны водосбора водотоков, позволяют получить **наиболее полную и непрерывную** характеристику распределения содержаний химических элементов **на значительных** по площади территориях **вне зависимости** от их геолого-поисковой изученности. Этим, в свою очередь, определяются реальные возможности объективной геометризации и корректных количественных оценок прогнозных ресурсов рудоперспективных площадей с использованием геохимической информации, которые на сегодняшний день реализованы лишь частично.

Наиболее широко в практике геохимических поисков при оценке прогнозных ресурсов по потокам рассеяния используется алгоритм А.П. Соловова [8], который отличается от других методов прогноза тем, что позволяет учитывать процессы гипергенного рассеяния в ряду первичный ореол — вторичный ореол — поток рассеяния, подходить дифференцированно к выбору протяженности оруденения на глубину, а также предопределяет возможности учета уровня эрозионного среза прогнозируемых месторождений. В этом варианте результаты оценки ресурсов определяются уровнем содержаний элемента в коренном субстрате, а также четырьмя переменными параметрами: коэффициентом соответствия поток-вторичный ореол (k'), коэффициентом соответствия вторичный ореол-первичный ореол (k), протяженностью оруденения на глубину (H), показателем уровня эрозионного среза (Z) (при наличии сведений).

Диапазон колебаний значений вышеуказанных переменных весьма широк, при этом в инструктивных документах отсутствуют надежные критерии их выбора для аномалий различного ранга и генезиса. В этой связи оценка прогнозных ресурсов аномалий во многом субъективна, дисперсия ее колебаний для конкретной аномалии даже в жестких рамках инструкции по геохими-

ческим методам поисков может быть от рудопроявления до крупного месторождения. При этом, как свидетельствует практика, применение этих моделей в подавляющем большинстве случаев приводит к резкому завышению прогнозных ресурсов вплоть до выделения слабо-минерализованных площадей в разряд перспективных на выявление крупных промышленных объектов.

Показателен в этом плане пример рассмотрения в 2017 г. геохимической основы листов N-47-XXXIV, M-47-IV Госгеолкарты-200 (исп. АО «Сосновгео») на заседании Геохимической секции НРС. Здесь фактически на одном листе с «хвостиком» выделены 12 геохимических узлов с ресурсами для каждого из них, соответствующими крупному месторождению. Подтверждением несовершенства существующей интерпретационной базы является резкая неадекватность геохимических ресурсов и установленных запасов практически во всех регионах России.

Такой итог вполне закономерен, так как рассматриваемая методика предусматривает оценку общих суммарных геохимических ресурсов как концентрированной, так и рассеянной форм нахождения вещества. Последние в объектах мелкомасштабного геохимического прогнозирования представлены многочисленными зонами рассеянной рудной минерализации, а также эндогенными геохимическими полями старших рангов, суммарная доля которых в ресурсах составляет в РП — 89–95 %, в РУ — 96–99 %, в РР — более 99 % (табл. 1).

Другим фактором, резко снижающим эффективность региональных геохимических работ, является недоучет процессов концентрации-рассеяния химических элементов в системе вторичный ореол — первичный ореол (k) в зависимости от ландшафтных условий и сульфидности прогнозируемого оруденения (табл. 2, 3). Это приводит к переоценке перспектив участков развития рассеянной сульфидной минерализации и непромышленного сульфидного оруденения в ландшафтах крутых склонов, характеризующихся контрастными, высокопродуктивными аномальными потоками рассеяния ($k \gg 1$) с последующей постановкой на них поисковых заверочных работ и к вероятному пропуску относительно слабо проявленных в геохимических ореолах убогосульфидных рудных объектов в слаборасчлененных районах ($k \ll 1$).

Проблема достоверности прогнозных оценок ресурсного потенциала не решена и в рамках, проводимых в последние десятилетия, работ по созданию Геохимической основы ГК-200 и ГК-1000. В соответствии с инструктивными документами, регламентирующими эти работы [9, 10], на усмотрение исполнителей предлагается более 30 способов оценки ресурсного потенциала, часть из которых не является прямыми методами прогноза, другие применимы при априорных оценках локализованных ресурсов, остальные приводят к неоднозначным, нередко диаметрально противоположным результатам. В этом случае нарушается принцип унификации интерпретации геохимической информации и, как следствие, имеет место несопоставимость прогнозных результатов по отдельным, в том числе

Таблица 1

Зависимость значений доли балансовых руд (α) от распространенности микроэлементов в земной коре (K) и площади (S) аномалий [6]

Группа по распространенности	Интервал K (в г/т)	Химический элемент	Зависимость α — S				
			Средние значения α для АГХП ранга				
			PM,	PP,	PU,	PP,	PO
Средней распространенности	≥ 170	Ti, P, Ba, Sr, Zr, Mn	$\alpha = \text{antln}(-0,71 \ln S - 0,50)$ 0,28; 0,054; 0,011; 0,0021; 0,0004				
Малораспространенные	10–110	Ni, Co, Cr, V, Li, Pb, Cu, Zn, Th, Nb, Y, Ga, Ce La, Rb, B, Sc	$\alpha = \text{antln}(-0,65 \ln S - 0,52)$ 0,29; 0,065; 0,015; 0,0033; 0,0007				
Редкие	1,0–4,0	Be, Sn, W, Mo, Ta, Hf, Ge, U, As	$\alpha = \text{antln}(-0,60 \ln S - 0,47)$ 0,32; 0,081; 0,020; 0,0051; 0,0013				
Очень редкие	0,05–0,5	Sb, Cd, In, Hg, Se, Ag, Bi	$\alpha = \text{antln}(-0,58 \ln S - 0,34)$ 0,35; 0,099; 0,026; 0,0068; 0,0018				
Редчайшие	0,0001–0,01	Pd, Au, Pt, Re, Te, Ir, Os, Rh	$\alpha = \text{antln}(-0,52 \ln S - 0,43)$ 0,37; 0,11; 0,034; 0,010; 0,0031				

Примечание: S в км²

смежным территориям. **Все это предопределяет весьма обоснованный скептицизм многих геологов-поисковиков к прогнозным геохимическим оценкам, широко распространенную точку зрения о невозможности дифференциации объектов по масштабу на ранних стадиях ГРР и, как следствие — недоучет роли геохимических методов в прогнозно-поисковом процессе.**

Проблема достоверности оценки прогнозных ресурсов во многом снимается при использовании модифицированной методики А.П. Соловова [8] с применением разработанной во ВСЕГЕИ системы оценки параметров и характеристик аномальных геохимических полей и прогнозируемого оруденения [9]. В этом варианте оценка ресурсов проводится с учетом доли кондиционного металла по следующей формуле:

$$Q = \alpha \frac{1}{k \times k'} P_i \times H \times d \times 10^{-2} (1),$$

где Q — прогнозные ресурсы химического элемента; α — доля балансовых руд; k и k' — коэффициенты соответствия вторичный ореол — первичный ореол и поток — вторичный ореол; P_i — продуктивность аномального геохимического поля (АГХП*); H — про-

* АГХП — совокупность пространственно сближенных или совмещенных геохимических аномалий родственных химических элементов, формирование которых обусловлено конкретными геологическими событиями.

гнозируемая протяженность оруденения на глубину; d — средневзвешенный объемный вес околорудных пород, а умножение на 10^{-2} отвечает переходу от процентов к тоннам металла.

Эта методика базируется на следующих методических разработках и установленных закономерностях [1, 6, 7]:

Таблица 2

Зависимость значений коэффициента соответствия ореольных продуктивностей золота (k) от сульфидности прогнозируемого золотого оруденения (SS) и крутизны склонов в условиях Дальнего Востока [6]

Элементарные ландшафты	Сульфидность золотого оруденения			Формулы зависимости k — SS
	Убого-сульфидные	Мало-сульфидные	Умеренно-сульфидные, сульфидные	
Крутых склонов	1,0 / 2,0	4,0 / 1,9	8,0 / 2,1	$K = \text{antln}(0,654 \ln SS + 1,842)$
Склонов средней крутизны	0,5 / 1,5	2,0 / 1,7	4,0 / 1,8	$K = \text{antln}(0,654 \ln SS + 1,191)$
Пологих склонов	0,15 / 1,8	0,8 / 1,8	2,0 / 1,9	$K = \text{antln}(0,929 \ln SS + 0,530)$

Примечание: Перед чертой — k, за чертой — $\epsilon^{\pm 1}$. SS — показатель сульфидности, численно равный сумме содержаний в рудах сульфидообразующих элементов: Pb, Zn, Cu, As, Sb, Bi, Co (в %)

Таблица 3

Зависимость значений коэффициента соответствия k' от сульфидности прогнозируемого оруденения халькофильной специализации и крутизны склонов в условиях Дальнего Востока с использованием данных Г.И. Хорина [11]

Элемент	Убого-, малосульфидные			Умеренносульфидные, сульфидные		
	Крутые склоны	Склоны средней крутизны	Пологие склоны	Крутые склоны	Склоны средней крутизны	Пологие склоны
Ag	0.9/2.0	0.6/2.0	0.3/2.1	3.0/1.9	1.5/1.9	0.6/2.2
Pb	3.0/1.7	1.7/1.8	0.7/1.8	3.5/1.8	2.0/1.7	1.3/1.9
Zn	1.1/1.8	0.8/1.8	0.4/2.1	1.5/2.1	0.9/2.0	0.5/2.1
Sn	3.1/2.1	1.8/2.2	1.3/2.1	4.2/2.1	2.1/2.1	1.5/2.1
As	2.2/1.7	1.6/1.7	1.0/1.8	3.3/1.7	1.9/1.7	1.2/1.7
Bi	2.1/1.7	1.8/1.4	1.1/1.8	3.1/1.7	1.9/1.7	1.2/1.8
W	1.7/1.3	1.5/1.4	0.9/1.6	2.9/1.6	1.8/1.4	1.1/1.7
Mn	2.4/1.6	1.1/1.6	0.9/1.8	3.2/1.7	1.7/1.6	1.0/1.7
Cu	1.2/1.8	1.0/1.9	0.8/1.8	1.4/1.7	1.1/1.8	0.9/1.8
Mo	1.4/1.8	0.9/1.8	0.6/1.9	1.6/1.2	0.9/1.4	0.8/1.4

Примечание: Перед чертой — k', за чертой — $\epsilon^{\pm 1}$

— при съемке по потокам рассеяния м-ба 1:200 000 на широко апробированном способе выделения аномальных площадей в виде изолиний по точкам, отвечающим центрам бассейнов водосбора водотоков I порядка [4];

— способе геометризации рудогенных систем с использованием структурных и концентрационных геохимических признаков;

— зависимости доли концентрированных форм нахождения элементов (α) от площади аномального геохимического поля (АГХП) и кларка содержаний элемента в земной коре (табл. 1);

— зависимости значений коэффициента соответствия вторичный ореол — первичный ореол (k) от сульфидности прогнозируемого оруденения и ландшафтных условий локализации аномалий (табл. 2, 3);

— результатах анализа и синтеза разрозненных данных о значениях коэффициента соответствия поток — вторичный ореол (k') при различных способах пробоподготовки;

— адаптированных применительно к аномалиям старших рангов методических подходах при определении вертикального размаха оруденения (H) на основе принципа подобия;

— результатах геохимической типизации месторождений различной формационной принадлежности;

— способе определения природы аномалий на основе анализа спектров АГХП младших рангов (по экстремальным пробам или их группам), расположенных в пределах АГХП старших рангов.

Построение ореолов в изолиниях по данным съемки по потокам рассеяния. При построении ореолов в изолиниях по данным съемки по потокам рассеяния м-ба 1:200 000 во внимание принимаются только точки опробования водотоков I порядка с равными бассейнами водосбора площадью 3–5 км² (в случаях отсутствия боковых притоков площадь водосбора может быть увеличена до 7–8 км²). Далее для проб, расположен-

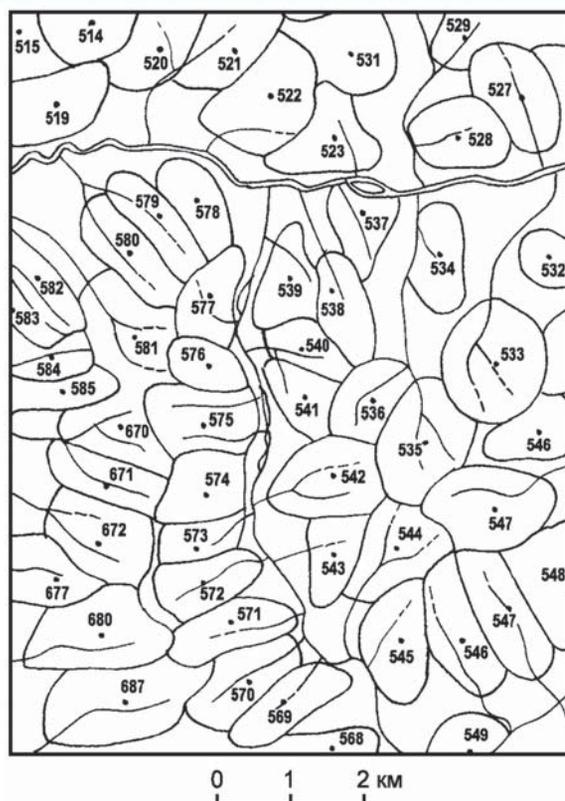


Рис. 1. Фрагмент карты фактического материала территории Северного Приамурья

ных в контурах таких бассейнов, рассчитываются средние содержания всех анализируемых элементов, которые относят к центру этих бассейнов. Затем проводится оконтуривание ореолов в изолиниях стандартным способом. В качестве примера на рис. 1 представлен фрагмент такой обновленной карты фактического материала территории Северного Приамурья.

Выбор ранга опробуемых водотоков обусловлен тем, что распределение элементов в коренном субстрате объективно отражает только содержания элементов в аллювии водотоков I и в меньшей степени II порядков, что подтверждается данными определения корреляции между содержаниями элементов в системе первичный ореол — вторичный ореол — поток рассеяния (табл. 4). Следовательно, геометризация рудогенных систем, оценка формационной принадлежности и прогнозных ресурсов коренных источников потоков рассеяния могут корректно осуществиться исключительно по данным опробования верховьев речных систем.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между корреляционными матрицами коренного оруденения и гипергенных аномалий на объектах Северо-Востока [11]

Номер объекта	Вид аномалии	Вторичный ореол	Поток I порядка	Поток II порядка	Поток III порядка
1	Первичный ореол	0,86	0,63	0,32	0,07
2		0,78	0,42	0,34	-0,09
3		0,92	0,54	0,47	0,21
1	Вторичный ореол		0,63	0,38	0,16
2			0,37	0,29	-0,09
3			0,48	0,21	-0,24
1	Поток I порядка			0,21	-0,04
2				0,29	0,02
3				0,34	-0,12
1	Поток II порядка				0,24
2					-0,07
3					0,32
% значимых связей		100,0	100,0	55,6	8,3

Примечание: Объекты: 1 — Серебряный, 2 — Кент, 3 — Угрюмый; критическое значение коэффициента парной корреляции при 5%-ном уровне значимости $r_{5\%}=0.294$

повышенных концентраций химических элементов. При этом в качестве основных оценочных параметров используются контрастность, продуктивность геохимического ореола и цифры прогнозных ресурсов полезного ископаемого. Результаты практического применения за последние десятилетия этой методики свидетельствуют, что выделение ореолов месторождений на фоне многочисленных нередко высокопродуктивных аномалий рассеянной минерализации весьма проблематично. Одним из перспективных направлений повышения надежности прогноза рудогенных систем являются технологии, основанные на анализе структур аномальных геохимических полей.

В самом общем виде структура АГХП халькофильной, золотой и серебряной специализаций выражается в упорядоченном или хаотичном строении, то есть характеризует степень проявленности объемной геохимической зональности. Эта зональность выражается в закономерной позиции генетически родственных ореолов привноса-выноса так называемых центростремительных (элементов рудного комплекса) и центробежных (преимущественно сидерофильных) элементов, образующих ярко выраженные системы объемно зонального строения (рис. 2). От центра к периферии выделяется три зоны:

— ядерная зона — область концентрации центростремительных и деконцентрации центробежных элементов;

— зона обмена, характеризующаяся диаметрально противоположным спектром;

— фланговая зона концентрации — область повышенных содержаний центростремительных элементов при субфоновых — центробежных.

Состав центростремительных элементов отражает металлогеническую специализацию (благородные металлы, халько-, литофильные элементы) соответствующих гидротермально-метасоматических систем. Спектр центробежных элементов вне зависимости от ранга АГХП универсален (табл. 5), что предопределяет возможность широкого использования установленной закономерности в прогнозных целях.

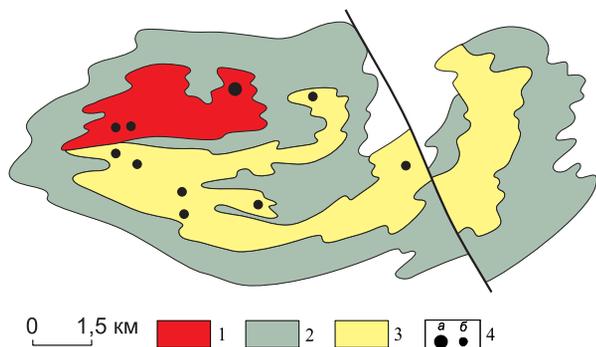


Рис. 2. Строение аномального геохимического поля ранга РУ Валунистое (Чукотка): 1 — ядерная зона, 2 — зона обмена, 3 — фланговая зона концентрации, 4 — проявления полезных ископаемых: а — месторождения, б — рудопроявления

Таблица 5

Состав центробежной группы элементов АГХП рангов РУ, РП золотой, серебряной и халькофильной специализации по частоте встречаемости [6]

Типичные ($\geq 75\%$)	Часто встречающиеся (50–75%)	Средней встречаемости (25–50%)	Редко встречающиеся (< 25%)
Ni, Co, V, Mn, Cr	Ba, Ti, Zn	Sc, Be, Cu	Ga, U, Li, P, Nb, Pb, Y, Sn, Sr, Rb

Наиболее широко распространены в природе аномалии неупорядоченного строения, на фоне которых структуры зональных АГХП представляют собой аномальное явление. Однако именно последние, являясь природными аккумуляторами химических элементов вплоть до промышленных концентраций, имеют наиболее важное теоретическое и практическое значение. В этой связи степень упорядоченности структур аномальных геохимических полей рассматривается как важнейший структурный геохимический признак рудогенных систем на всех иерархических уровнях организации вещества от рудного узла до рудного тела включительно.

Оценка рудноформационной принадлежности прогнозируемого оруденения. Определение формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов производится для АГХП младшего ранга, картируемого в данном масштабе геохимической съемки: м-ба 1: 200 000 — ранга РП ($n \times 10^4 \text{ км}^2$), м-ба 1: 1 000 000 — ранга РУ ($n \times 10^2 \text{ км}^2$). На таких относительно крупных участках недр помимо собственно рудных тел:

— широко представлены проявления рассеянной минерализации, спектр которых может значительно отличаться от спектра оцениваемого прогнозируемого рудного объекта;

— могут иметь место проявления других полезных ископаемых, характеризующихся другим набором рудных элементов и элементов-спутников.

Однако несмотря на это, в практике геохимических поисков оценка формационной принадлежности прогнозируемых объектов часто производится по усредненным спектрам множества точек опробования в контурах аномальных геохимических полей старших рангов. В таком случае спектр аномалии, рассчитанный по усредненным значениям содержаний, будет отражать некий суммарный совокупный сигнал («среднюю температуру по больнице»): а) прогнозируемого объекта; б) проявлений рассеянной минерализации; в) проявлений других полезных ископаемых (при их наличии). Это является одной из причин невысокой достоверности оценки формационной принадлежности прогнозируемых объектов по усредненным спектрам аномальных геохимических полей старших рангов.

Решение проблемы прогноза рудноформационной принадлежности по гипергенным ореолам возможно, если рассматривать АГХП как совокупность дискретных аномальных точек. Очевидно, что точка опробования в контурах АГХП, максимально при-

Таблица 6
Характеристика спектра главных типов месторождений Дальнего Востока (по потокам рассеяния)

Полезное ископаемое	Формация (класс)	Тип	Ранжированный геохимический спектр ⁴	Примеры проявлений	
Au, Ag	Золото-кварцевая	Арсенопиритовый	Au As W Ag (Sb Pb Sn)	Токурское, Харгинское, Мало-мырское, Каральевенское, Кэнкэрэнское	
		Пиритовый	Au Fe Cu Bi Ni Co (W Mo Zn)	Колчеданный Утес, Ледяное, Скалистое и др.	
	Золото-кварц-сульфидная		Au As (Ag) Pb Bi Cu (Sb Zn W Mo)	Березовый, Ясное, Тенгели и др.	
	Золото-сульфидная		Au As Sb (Ag) Pb Cu (W Sn Zn Bi)	Майское и др.	
	Золото-антимонитовая		Au Sb Ag As Hg Pb (Cu Bi W Zn)	Яранга и др.	
	Золото-вольфрамовая		Au W As Sb (Mo Cu Ag Pb)	Унгличканское	
	Золото-ртутная		Au Hg Sb W Mo (As Ag Zn Bi Cu)	Хемло	
	Золото-редкометаллическая		Au Bi (Ag Mo As Cu Pb Sb Te)	Кировское, Валун и др.	
	Золото-полиметаллическая		Au Pb Zn (Ag) Cu Bi (Hg Sb As W)	Березитовое, Чагоян и др.	
	Золото-серебряная	Золото-аргентитовый		Au Ag As Cu (Pb Mo Zn Sn)	Валунистое, Теркенейское, Утесное и др.
		Пирит-сульфо-антимонитовый		Au Ag As (Mo Cu Pb Bi Sn)	Карамкенское, Нявленга, Жильный и др.
		Золото-сфалерит-галенитовый		Au Ag Pb Zn As (Cu Mo Bi Sn W)	Улахан (PT 7), Поздний и др.
		Родонит-родохрозитовый		Au Ag Pb As Mn (Mo Zn Sn Cu W)	Хаканджинское, Неожиданный, Угрюмый-1 и др.
Ag (Au)	Серебро-полиметаллическая		Ag As Pb Zn Sn(Mn Bi Au) (Mo Sb Cu W)	Дукат, Улахан (PT 6), Гайчан и др.	
Ag, Sn	Олово-серебряная		Ag Sn Pb As Zn Cu Au (Sb Bi)	Хета, Ирвиней	
Sn (Ag)	Касситерит-сульфидная		Sn Ag As Pb Zn Bi (W Cu) (Mo Sb Hg)	Ирча, Кумусун, Сорукан	
Sn	Касситерит-силикатно-сульфидная		Sn Ag (As Pb Zn W Cu As)	Депутатское, Кандычан, Кери и др.	
	Касситерит-кварцевая		Sn As W Bi (Ag Cu Mo Be)	Иульгин	
Cu (Au)	Медно-порфировая		Cu Mo Ag Pb Zn Au W (Ni Co Sn Bi)	Бургаликан	
Mo (Cu)	Медно-молибден-порфировая, молибден-порфировая		Mo Cu Bi Pb W Ag (Zn Sn Ni Co)	Ледяное, Выходное и др.	
Mo	Кварц-молибденитовая		Mo W Sn As Bi (Cu Zn Pb)	Умальта	
Sb	Кварц-антимонитовая		Sb As (Au Ag Mo W)	Сарылах, Ленинское, Богучанское, Салокачинское	
P	Магматический		P Sr (Ba Ni Cr Mn Co Cu Zn TR)	Укдуска	
Ti	Магматический		Ti Cr Mn V (P Ni Co Zr)	Куранахское, Бол. Сейим	
Ni	Магматический		Ni Co Cu Cr Mn (As Pt Ba)	Лукинда	
TR	Полевошпатовых метасоматитов		La Ce Zr (Co Ni V Sn Zn)	Джелу	

⁴Жирным шрифтом выделены типоморфные элементы высокого уровня концентраций ($C > 2C_A$), курсивом — характеризующиеся слабоповышенными содержаниями ($2C_A > C > C_A$), в скобках — спорадически встречающиеся элементы (жирным шрифтом — в группе высококонцентрирующихся)

ближняя к рудному объекту, будет характеризоваться в пределах ореола минимальным искажающим влиянием на содержание элемента сопутствующих непромышленных и чуждых проявлений. Тогда и спектр элементов в этих точках будет определяться в основном геохимическим составом собственно рудного объекта. Индикация таких точек на практике может осуществляться по локальным максимумам содержаний главных компонентов прогнозируемых руд в высокоаномальных областях. Такие подходы

нами широко апробированы на практике и позволяют при наличии эталонов вполне удовлетворительно проводить оценку рудноформационной принадлежности прогнозируемого оруденения. Практически эта операция осуществляется путем построения ранжированных по фоновым содержаниям рядов химических элементов в экстремальных точках с последующим их сравнением со спектрами эталонных объектов, а также известных на изучаемой площади месторождений.

В таблице 6 приведены обобщенные характеристики спектров элементов в аномальных потоках рассеяния месторождений различной формационной принадлежности (на примере Дальнего Востока). По этим данным с привлечением ранее опубликованных сведений о химическом составе генетических групп месторождений и рудных формаций, результатов систематизации золото-серебросодержащих проявлений [4, 6], а также сведений о характере известных в контуре АГХП проявлений, геолого-структурной позиции аномалии, типе метасоматических изменений и других, и производится оценка формационного типа прогнозируемого оруденения.

Определение вертикального размаха оруденения. Определение протяженности оруденения на глубину (Н) осуществляется на основе принципа подобия [8]. Практическое использование этого принципа ограничивается авторами этого способа прогнозом протяженности рудных тел по первичным ореолам на стадиях поисковых, поисково-оценочных и разведочных работ. Вместе с тем, существуют возможности определения Н и при региональных поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Они могут быть реализованы на основе оценки продуктивности прогнозируемого оруденения (рудных тел) (P^k рт) по данным расчетов продуктивности, выделенных АГХП старшего ранга (Р). Для этого к величине Р вводятся поправки, учитывающие характер процессов гипергенного рассеяния (k, k'), и исключается доля рассеянных форм нахождения элемента (α):

$$P^k \text{ рт} = \alpha \frac{P}{kk'}$$
 (2),

где α — доля балансовых руд; k и k' — коэффициенты соответствия вторичный ореол — первичный ореол,

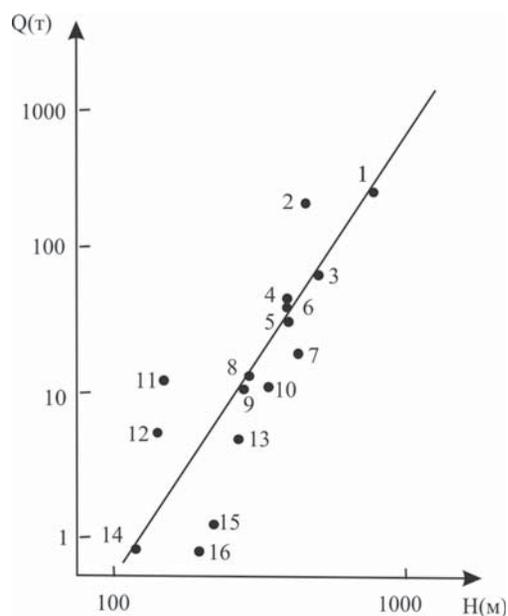


Рис. 3. Зависимость запасов и протяженности оруденения на глубину для золоторудных месторождений Дальнего Востока

поток — вторичный ореол; Р — продуктивность АГХП i -ранга (при прогнозе масштабов 1:200 000, 1:500 000 (без генерализации) — ранга РП, 1:1 000 000 — ранга РУ).

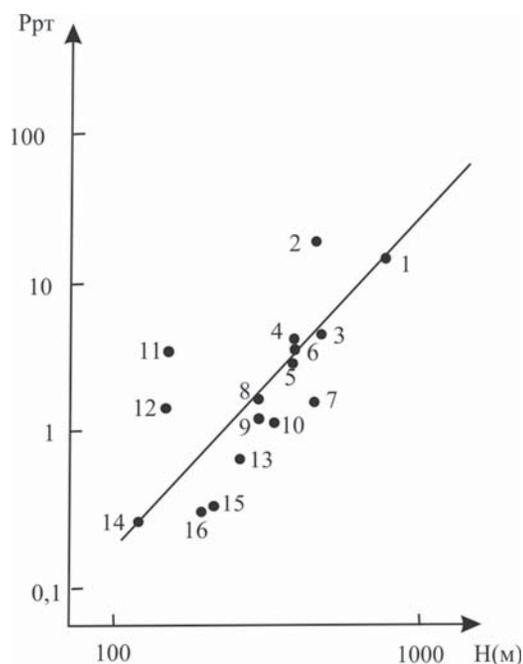


Рис. 4. Зависимость продуктивности оруденения и протяженности на глубину золоторудных месторождений Дальнего Востока. Месторождения: 1 — Маломыр, 2 — Бамское, 3 — Глухое, 4 — Хаканджинское, 5 — Березитовое, 6 — Многовершинное (РТ верхнее), 7 — Дяппе, 8 — Буриндинское, 9 — Многовершинное (РТ Центральное), 10 — Аскольд, 11 — Колчеданный утес, 12 — Хаканджинское (РТ-3), 13 — Агние-Афанасьевское, 14 — Тумнинское, 15 — Многовершинное (РТ Тихое), 16 — Кварцитовое

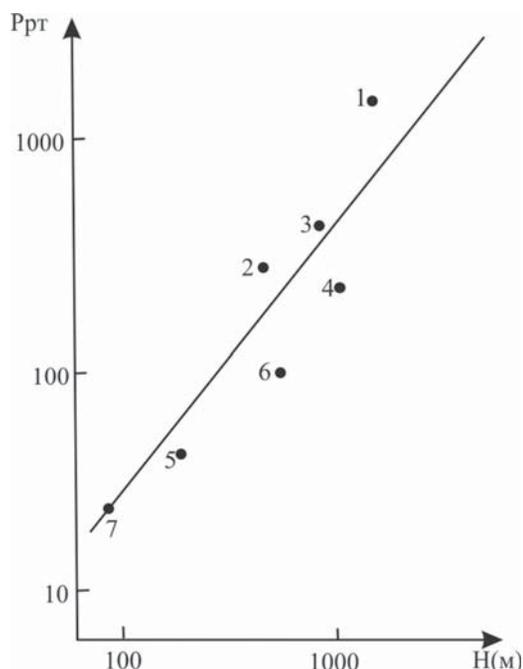


Рис. 5. Зависимость продуктивности и протяженности оруденения на глубину некоторых серебряных месторождений мира. Месторождения: 1 — Потоси, 2 — Мильюачака, 3 — Брокен-Хилл, 4 — Хилтон-Майн, 5–6 — Гуана-Хуата: 5 — жила Арана, 6 — Гл. шахта; 7 — Теркеней

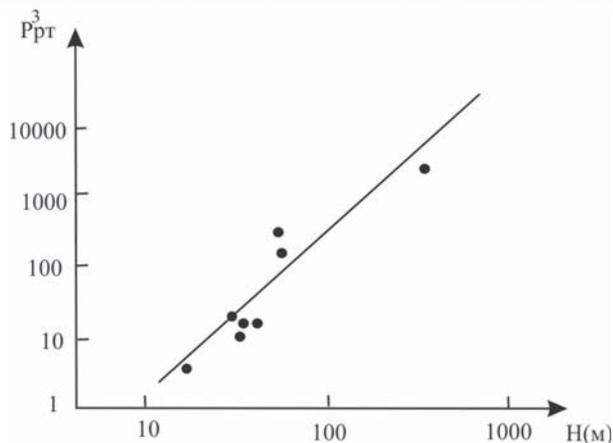


Рис. 6. Зависимость продуктивности и протяженности оруденения на глубину редкоземельных проявлений Северного Приамурья

Продуктивность эталонного объекта оценивается исходя из следующего выражения:

$$Q = \frac{P_{PT}^{\Delta} H^{\Delta} d}{100} \quad (3)$$

по следующей формуле:

$$P_{PT}^{\Delta} = \frac{100 Q}{H^{\Delta} d} \quad (4),$$

где Q — разведанные запасы известного объекта; H^{Δ} — установленная на эталонном объекте протяженность оруденения на глубину; $d = 2,5 \text{ т/м}^3$ — средневзвешенный объемный вес вмещающих пород.

Таблица 7

Сопоставление прогнозных ресурсов известных золоторудных полей, узлов по потокам рассеяния и данных поисково-разведочных работ (Приамурье)

Рудное поле, узел (месторождение)	Геохимические данные					Ресурсы и запасы по данным поисковых, разведочных и добычных (д) работ (у.е.) (категория)
	Вид и масштаб работ	Площадь АГХП (км ²)	Полезное ископаемое	Ресурсы инструктивные ⁵ кат. P ₃ (у.е.) [подвеска (м)]	Ресурсы авторские кат. P ₃ (у.е.) [подвеска ⁶ (м)]	
Бамское РП (Бамское)	Мелкомасштабное обобщение-500	56	Au Ag	250 (100) 2063 (100)	140 (500) 655 (500)	119,5 (C ₁ +C ₂ +P ₁) 246,4 (C ₁ +C ₂ +P ₁)
Скалистое РП (Ледяное, Скалистое)	-----«»-----	25	Au	94 (100)	25(300)	34,6 (P ₁)
Колчеданное РП (Колчеданный утес)	-----«»-----	44	Au	58 (100)	12(230)	5 (P ₁)
Соловьевский РУ (Кировское)	Геохимическая основа-1000/3	582	Au	1310 (100)	121 (560)	114,9 (Д+C ₁ +C ₂ +P ₁ +P ₂)
Березитовый РУ (Березитовое)	-----«»-----	548	Au	867 (100)	195 (670)	109,2 (C ₁ +C ₂ +P ₁ +P ₂)
Покровский РУ (Покровское)	-----«»-----	1282	Au	2308 (100)	410 (890)	161,9 (C ₁ +C ₂ +P ₁ +P ₂)
Ольгинский ⁷ РУ (Пионер)	-----«»-----	1200	Au	4381 (100)	487(950)	153,1 (C ₁ +C ₂ +P ₁ +P ₂)

⁵ Рассчитаны в соответствии с «Инструкцией...» [3]

⁶ Для крутопадающих рудных тел — протяженность на глубину, для субгоризонтальных или изометричных — протяженность по простиранию

⁷ Ожидается значительный прирост запасов

Далее определяется протяженность прогнозируемого оруденения на глубину по следующим формулам:

$$\chi = \sqrt{P_{PT}^K \cdot P_{PT}^{\Delta}} \quad (5),$$

$$H^K = \chi H^{\Delta} \quad (6),$$

где χ — коэффициент подобия; H^K и H^{Δ} — протяженность на глубину контрольного и эталонного объектов.

В зависимости от полноты имеющихся сведений о параметрах и морфологии эталонных объектов определение H^K возможно по трем вариантам: при отсутствии эталонов, при наличии одного эталонного месторождения, с использованием данных о группе известных месторождений. В последнем варианте такая оценка производится на основе статистически устойчивых зависимостей между P_{PT} и H , представленных на рис. 3–6.

В настоящее время такие зависимости установлены для золота, серебра и редкоземельных элементов [8]:

$$\text{для Au} \quad H = \text{antln}(0,625 \ln P_{PT} + 4,967) \quad (7),$$

$$\text{для Ag} \quad H = \text{antln}(0,774 \ln P_{PT} + 2,083) \quad (8),$$

$$\text{для TR} \quad H = \text{antln}(0,400 \ln P_{PT} + 2,250) \quad (9).$$

Рассматриваемая методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных районов — полей широко апробирована в Дальневосточном регионе. С ее использованием проведена интерпретация геохимических материалов по более чем 40 листам м-ба 1:200 000, по 8 листам м-ба 1:500 000 (мелкомасштабное обобщение литохимической съемки-200), по 3 листам м-ба

МАССИВ КОНДЁР. ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ И ИЗУЧЕНИЯ

*В статье рассматриваются подробности открытия и изучения зонально-концентрического полимагматического Кондёрского массива. Породы массива слагают гору Кондёр. Приводится характеристика Кондёрского платинового месторождения. **Ключевые слова:** Кондёрский массив, гора Кондёр, Кондёрское платиновое месторождение.*

Arkhangelskaya V.V. (VIMS)

KONDER MASSIF. HISTORY OF OPENING AND STUDYING

*In article details of discovery and studying of the zone and concentric polymagmatic Kondyorskyy massif are considered. Breeds of the massif compose Mount Konder. Characteristic of the Kondyorskyy platinum field is given. **Keywords:** Kondyorskyy massif, mount Konder, Kondersky platinum deposit.*

Массив Кондёр — это полимагматический интрузив, породы которого слагают одноименную одиночную необычной формы гору на востоке России. Гора находится на севере Хабаровского края в Аяно-Майском районе. В плане она идеально круглая диаметром 13 км, представляет собой кольцевой хребет с котловиной внутри диаметром 5,5 км и похожа на лунный кратер или кальдеру вулкана, а издалека — на усеченный конус вулкана. Максимальная абсолютная высота хребта 1398 м, внутренней котловины — 1146 м. Над окружающим ее Юдомо-Майским плоскогорьем она возвышается на 500–600 м. Гору дренирует ключ Кондёр, берущий начало внутри нее.

До Великой Отечественной войны гору посетили Б.П. Кулеш (1936 г.) и А.К. Матвеев (1940 г.), а в 1941 г. П.Д. Шкляев, обнаруживший платину в шлихах из аллювиальных отложений истоков кл. Кондёр. Сведения об этих посещениях в опубликованной литературе отсутствуют.

Сразу после окончания Великой Отечественной войны в СССР были развернуты широкие геологические исследования совершенно не изученных или слабо изученных регионов. Геологическим съемкам предшествовали аэрофотосъемка и аэромагнитная съемка этих регионов. Геологической съемкой масштабов 1:1 000 000 и позже — 1:200 000 регионов Востока СССР занималась Алданская экспедиция Всесоюзного Аэрогеологического Треста (ВАГТ). Автор этой статьи работала в ней начальником партии. В 1956 г. партия должна была произвести мелкомасштабную геологическую съемку района, в котором находится г. Кондёр. Дешифрирование аэрофотоснимков автором статьи и главным геологом экспедиции Аронном

1:1 000 000 (Геохимическая основа-1000/3). Результаты этих исследований позволили унифицировать подходы к дифференциации геохимических объектов по степени перспективности; осуществить ревизию рудоносности известных РС и выделить новые потенциально рудные объекты; оценить ресурсный потенциал изучаемых территорий в целом; провести научно обоснованный выбор перспективных площадей для постановки прогнозно-поисковых работ.

Достоверность количественных оценок ресурсного потенциала, а, следовательно, и геолого-экономическая эффективность рассматриваемой методики прогноза, подтверждается результатами сопоставления ресурсов, рассчитанных в авторском и традиционном [3] вариантах, с данными разведки и поисков известных золоторудных месторождений Приамурья. Как видно из табл. 7 «инструктивные» оценки даже при резко заниженной и ничем не мотивированной подвеске (100 м) превышают сумму разведанных запасов и ресурсов, установленных при средне-, крупномасштабных поисках в среднем по всем объектам более чем в 13 раз, при оценке ресурсов до реальной глубины распространения оруденения эти различия будут измеряться многими десятками раз. Ресурсы в авторском варианте, полученные с использованием весьма жестких критериев выбора значений k , k^1 , α и определением реального вертикального размаха прогнозируемого оруденения (H), исключаяющих возможность манипулирования этими параметрами, в значительно большей степени адекватны поисковым и разведочным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях* / Под ред. А.Ф. Морозова, Б.К. Михайлова, Т.В. Чепкасовой, О.В. Петрова, А.А. Кременецкого, С.М. Алексеева / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко, О.Н. Симонов и др. — ВСЕГЕИ, 2005. — 98 с.
2. *Григоров, С.А. Прикладные аспекты структурного метода поисков по геохимическим данным* / С.А. Григоров / Теория и практика геохимических поисков в современных условиях. — М.: Наука, 1990. — С. 68–79.
3. *Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений*. — М.: Недра, 1983. — 191 с.
4. *Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния*. — М.: ИМГРЭ, 1992. — 164 с.
5. *Питулько, В.М. Основы интерпретации данных поисковой геохимии* / В.М. Питулько, И.Н. Крицук. — Л.: Недра, 1990. — 336 с.
6. *Соколов, С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения* / С.В. Соколов. — СПб: Наука, 1998. — 154 с.
7. *Соколов, С.В. Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ* / С.В. Соколов // Прикладная геохимия. — Вып. 5: Компьютерные технологии. — М.: ИМГРЭ, 2004. — С. 5–44.
8. *Соловов, А.П. Геохимические методы поисков рудных месторождений* / А.П. Соловов, А.А. Матвеев. — М.: МГУ, 1985.
9. *Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1 000 000* / А.А. Головин, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович и др. — М.: ИМГРЭ, 1999.
10. *Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1: 200 000* / А.А. Головин, Н.Н. Москаленко, А.И. Ачкасов и др. — М.: ИМГРЭ, 2002. — 92 с.
11. *Хорин, Г.И. Прогнозная оценка ресурсов полезных ископаемых по данным литохимической съемки* / Г.И. Хорин // Геохимические методы в геологическом картировании. — М.: ИМГРЭ, 1985.

© Соколов С.В., 2019

Соколов Сергей Валерьевич // Sergey_Sokolov@vsegei.ru