### ЛИТЕРАТУРА

 Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 г. — Москва, 2013. — 199 с.

2. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхозин А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторождение Чёртово Корыто (Патомское нагорье) // Изв. Томского политех. университета. — 2009. — Т. 314. — № 1. — С. 23–38.

3. *Машковцев Г.А., Коноплев А.Д., Мигута А.К., Щеточкин В.Н.* Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы урана России // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 5. — С. — 15–22.

© Зайченко А.П., Домаренко В.А., 2015

Зайченко Андрей Петрович // andrey.vl@list.ru Домаренко Виктор Алексеевич // viktor\_domarenko@mail.ru

УДК 553.4:550.84

Силин И.И. (ФГУП «ИМГРЭ»)

## МЕТОДИКА И ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ СЪЕМКИ МАСШТАБА 1:200 000

Метод вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным использует те же параметры, что и подсчет промышленных запасов, а именно: промышленное содержание, объем рудного блока, коэффициент рудоносности. Поскольку в исходных поисковых данных из-за малого числа рудных проб и низкого содержания металла указанные параметры определить невозможно, вместо них вводятся относительные величины, количественно связанные с параметрами промышленных месторождений. Выделение нижнеаномального уровня геохимических полей (АГХП) производится статистически по всей совокупности геохимических проб, отобранных в пределах листа масштаба 1:200 000. Оценка прогнозных ресурсов в пределах АГХП выполняется двумя способами: по величине стандартного отклонения и по функции связи содержания элемента и объема рудного блока. Метод иллюстрируется примерами. Ключевые слова: прогнозные ресурсы, коэффициент промышленной концентрации, коэффициент промышленной рудоносности.

### Silin I.I. (IMGRE)

## METHODOLOGY AND SAMPLE ESTIMATES OF INFERRED RESOURCES BASED ON THE GEOCHEMICAL DATA FROM THE SURVEYING AT A SCALE OF 1:200 000

Method of calculation of inferred resources on the basis of geochemical data is based on the same parameters as calculation of commercial reserves, namely: commercial grade, ore block volume, and ore-bearing factor. In original exploration data the above categories are difficult to define due to low number of ore samples and low metal concentrations. That is why they are substituted by relative values quantitatively connected to parameters of commercial mineral deposits. A lower level of an anomalous geochemical field (AGF) is statistically selected from the totality of geochemical samples taken within the quadrangle sheet of 1:200 000 scale. Inferred resources within AGF are estimated by two ways: via standard deviation and communication functions of the element content and the ore block volume. The presented method is illustrated by examples. **Key words:** inferred resources, factor of economic concentration, factor of economic ore presence. Предложенный метод вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным изложен автором в ряде статей [4, 5] и монографии [6]. Метод использует те же параметры, что и подсчет промышленных запасов, а именно: промышленное содержание, объем рудного блока, коэффициент рудоносности. Указанные параметры в исходных поисковых данных из-за малого числа рудных проб и низкого содержания металла отсутствуют, вместо них вводятся относительные величины, количественно связанные с параметрами промышленных месторождений. Для этого выполняются следующие операции, использующие объективные данные.

1. Доля промышленного содержания элемента в пробе определяется путем нормирования результатов лабораторных определений на минимально-промышленное содержание элемента, принятое по мировым (или региональным) оценкам. Полученные величины называются коэффициентами промышленной концентрации (K<sub>Cp</sub>).

2. Доля площади рудоносного блока с промышленным содержанием металла определяется с помощью коэффициента промышленной рудоносности (К<sub>Sp</sub>), равного отношению площади с промышленным содержанием металла (по К<sub>Ср</sub>) к площади всего рудоносного блока (в долях единицы). Ориентировочные пороги рангов аномальных геохимических полей (АГХП) можно принять соответствующими десятичной градации объектов (в K<sub>Cn</sub>): РТ (рудное тело) – 1; РМ (рудное месторождение) — 0,5; РП (рудное поле) — 0,1; РУ (рудный узел) — 0,01. Глубина прогнозирования для крутопадающих рудоносных структур определяется технологически доступной глубиной отработки месторождений данного типа. При упрощенном вычислении прогнозных ресурсов фактическая продуктивность ореола корректируется на величину К<sub>Ср</sub> и К<sub>Sp</sub>. При этом коэффициенты считаются независимыми переменными. На самом деле в рудоносном блоке они функционально связаны.

3. Для более точного вычисления прогнозных ресурсов вычисляется функция связи коэффициентов промышленной концентрации и промышленной рудоносности. В общем случае она выражается функцией, обладающей эластичными свойствами:

$$F(K_{Sp} \cdot K_{Cp}) = (K_{Cp}/K_{Sp}) \cdot (dK_{Cp}/dK_{Sp}).$$

Выявленная зависимость позволяет определить величину коэффициента рудоносности по заданному численному значению коэффициента промышленной концентрации.

Уточненные прогнозные ресурсы определяются по общепринятой формуле подсчета промышленных запасов. Однако вместо среднего содержания металла в ореоле в формуле используется принятое минимальное промышленное содержание, скорректированное на величину К<sub>ср</sub>, а площадь рудоносного блока корректируется на величину коэффициента промышленной рудоносности при заданном значении коэффициента промышленной концентрации:

$$Q = (S \cdot K_{Sp}) \cdot H \cdot d \cdot C_p$$

где Q — прогнозные ресурсы металла, кг; S — площадь потенциального месторождения, м<sup>2</sup>;  $K_{sp}$  — коэффициент промышленной рудоносности, равный  $K_{sp} = f K_{sp}$  ( $K_{Cp}$ ); Н — глубина отработки прогнозируемого месторождения, м; d — объемный вес руды, т/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — заданное минимальное промышленное содержание металла, кг/т. Ниже на конкретном примере излагается технология геолого-промышленного метода.

# Примеры вычисления прогнозных ресурсов на стадии геохимических съемок масштаба 1:200 000

Предлагаемый метод оценки прогнозных ресурсов описывается на примере статистической обработки результатов опробования коренных пород и донных отложений листа М-50-III (Балей) масштаба 1:200 000. Опробование выполнено в 1994 г. по технологии МГХК. Анализы проб выполнены в Бронницкой лаборатории ИМГРЭ методом ПКСА с повышенной чувствительностью. Содержание золота определялось спектрохимическим методом, однако чувствительность метода для количественного прогноза оказалась недостаточной. По этой причине, а также в связи с очевидной техногенной переработкой россыпей золота, объектом исследования явились редкие элементы, чувствительность анализа на которые тоже недостаточна. База геохимических данных (БГХД) представлена в стандартной СУБД.

Исходная база аналитических данных. Для составления табл. 1 необходимо исходные лабораторные данные спектрального анализа проб ПКСА дополнить коэффициентами промышленной концентрации (К<sub>Ср</sub>) путем деления содержаний элементов в пробах на их минимальное промышленное содержание по мировым или региональным оценкам [4, 5]. В результате этой операции исходная таблица расширяется вдвое, но зато позволяет концентрацию каждого элемента в каждой пробе сопоставить с минимально промышленным содержанием в потенциальном месторождении.

Определение границ перспективных объектов. В табл. 1 (фрагмент) приведена статистика аналитической выборки из 1118 проб коренных пород, отобранных со средней плотностью 1 проба на 4,7 км<sup>2</sup>. Статистика верхних пяти параметров (строк) набиралась в полуавтоматическом режиме по столбцам содержания в пробах соответствующих элементов реляционной таблицы базы данных (в программе ArcMap). Минимальное значение содержаний для многих элементов ниже порога чувствительности спектрального метода, поэтому выделение отрицательных аномалий не производилось. Остальные параметры вычислялись непосредственно по табл. 1. Кларк верхней части континентальной коры заимствован у Н.А. Григорьева [2]. Минимально промышленные содержания в основном получены из сборников «Минеральные ресурсы» и справочников [1, 3].

Итерация данных производилась для элементов, у которых стандарт близок или превышает среднее выборки. «Ураганные» содержания заменялись на устойчивое максимальное (многократно повторяющийся максимум), но только для вычисления среднего и стандартного отклонений. В остальном данные исходных таблиц не корректировались. Необходимость итераций имеет в своей основе предположение о том, что распределение содержаний элементов в выборке геохимических проб представляет собой сочетание двух составляющих — регулярной и случайной: y(x) = f(C, x) + h(x).

Регулярная составляющая f(C, x) представляет собой гладкую функцию от аргумента (от концентрации элемента), описываемую обычно нормальным распределением. Эта составляющая называется также трендом, уровнем, детерминированной основой процесса, тенденцией. Под всеми этими терминами лежит интуитивное представление о какой-то очищенной от помех сущности анализируемого процесса. Интуитивное, т.к. для большинства природных процессов нельзя однозначно отделить тренд от случайной составляющей. Все зависит от того, какую цель преследует это разделение и с какой точностью его осуществлять. Случайная составляющая ή(x) обычно считается некоррелированным случайным процессом с нулевым математическим ожиданием. Ее оценки необходимы для дальнейшего определения точностных характеристик прогноза, т.к. ожидается, что именно случайная составляющая является признаком рудообразующего процесса. Итерации чаще всего позволяют упрощенно отделить случайную составляющую от регулярной, т.е. выделить аномальные пробы с заданной вероятностью, но эта технология требует определенного внимания.

## Таблица 1

Фрагмент. Вычисление статистических границ АГХП листа М-50-III, 1118 проб

Параметры	Li	Ni	Со	Cu	As	Be	Sn	w	Ge	Р	Nb
Минимум (C <sub>min</sub> )	15	0,5	0,2	0,5	50	0,5	0,5	1,5	0,5	500	1,5
Максимум (С <sub>тах</sub> ):	1000	1500	100	800	1000	60	100	200	60	6000	100
Среднее (Ĉ):	41,3	39,0	8,2	45,0	130,0	1,6	5,3	13,0	2,2	1039,0	11,0
Ср. кв. откл.(δС):	16,4	35,0	10,0	51,0	47,0	1,0	5,2	4,8	1,1	193,0	2,3
$Ca = C_{cp} + 2\delta C$	74	109	28	147	224	4	16	23	4	1425	16
$K_{c} = C_{max} / \hat{C}$	24,2	38,5	12,2	17,8	7,7	37,5	18,9	15,4	27,3	5,8	9,1
Кларк верхней коры (К)	30,0	62,0	17,0	39,0	6,5	2,1	3,8	2,5	1,3	610,0	12,0
С <sub>мин. пром</sub> (С <sub>р</sub> )	1000	5000	1000	2000	5000	1000	1000	1000	100	30000	1000
$K_{Cp} = C_{max}/C_{p}$	1,00	0,30	0,10	0,40	0,20	0,06	0,10	0,20	0,60	0,20	0,10

Ранговый ряд по К<sub>с</sub>: 100Ag90Mo53Bi35Hg27Ge19Sn18Cu17Sb-(38Ni20Cr16Ti15W)-(37Be34B24Li17Sr8Zr) Ранговый ряд по К<sub>ср</sub>: 0.7Ag0.6Ge0.5Sb0.4Cu0.2MoBiAs-(0.3Ni0.2W)-(1Li 0.1SrNb)

разведка НЕДР



Рис. 1. Растровое отображение векторной карты аномальных геохимических полей М-50-III (Балей) масштаба 1:200 000, составленной по результатам опробования коренных пород: геологические комплексы: 1 — неоген-четвертичный осадочный; 2 — верхнеюрско-нижнемеловой вулканогенно-осадочный; 3 — средне- верхнеюрский гранит-гранодиоритовый плутонический (Борщевский комплекс); 4 — нижнепермский плутонический гранит-гранодиоритовый; 5 — нижнекаменноугольный осадочный; 6 — средне-верхнедевонский осадочный; 7 — верхнепалеозойский метаморфический филлитовый; 8 — нижнепалеозойский плутонический гранитный; 9 — нижнепротерозойский амфиболовый; 10 — архейский метаморфический; 11 — тектонический меланж; 12 — известные проявления рудных формаций: а — золоторудные проявления и месторождения , 6 — редкометальные проявления; 13 — россыпи золота; потенциальные рудные узлы: 14 — золото-кварцевой формации; 15 — золото-полиформационной; 16 — уран-редкометальной; 17 — потенциальное рудное поле лития; точки отбора геохимических проб с содержанием элемента, характерным для: 18 — месторождения (К<sub>ср</sub> > 0.5); 19 — рудного поля (К<sub>ср</sub> >0.1); 20 — рудного узла (К<sub>со</sub> >0.01); 21 — геохимического фона; 22 — цветовая легенда элементов

Выделение границ АГХП производилось по превышению среднего на два стандарта, что соответствует уровню критерия значимости 0,05.

В табл. 1 приведены два показателя уровня накопления элементов: К<sub>с</sub> — превышение максимума над средним, К<sub>Ср</sub> — доля максимума в минимально промышленном содержании. Сопоставление ранговых рядов Кс и К<sub>ср</sub> показывает, что между показателями существует устойчивая положительная корреляция. Величина К<sub>с</sub> не всегда соответствует промышленной важности элемента как объекта поисков, т.к. элементы с низким кларком в месторождениях накапливаются в сотни и тысячи раз выше, чем Ті, Мп и др. В то же время К<sub>с</sub> заметно полнее раскрывает состав элементов-спутников главного элемента. Все точки отбора геохимических проб, содержание которых превышает указанные выше пороги рангов АГХП, отображаются на геологической основе соответствующими условными знаками и окраской, например: (РП ( $K_{Cp} > 0,1$ ) — пентагоны, РУ ( $K_{Cp} > 0,01$ ) — прямоугольники, РЗ ( $K_{Cp} > 0,001$ ) —

сколько аномальных элементов, то отображается элемент с максимальным накоплением, а в случае когда их несколько, указываются их символы. Точками обозначены места отбора не аномальных проб. Под табл. 1 выписаны ранговые ряды элементов, отражающие геохимическую специализацию рассматриваемой территории. Ранговый ряд элементов, составленный по величине K<sub>c</sub>: (Au)100Ag90Mo53Bi35Hg27Ge19Sn18Cu17 Sb-(38Ni20Cr16Ti15W)-(37Be34B24Li17Sr8Zr) — показывает, что Балейский золоторудный район характеризуется преимущественно (анализы на золото отсутствуют!) золото-редкометалльной специализацией. Ранговый ряд элементов, составленный по величине К<sub>ср</sub>, также отражает золото-редкометалльную специализацию района — (Au)0,7Ag0,6Ge0,5Sb0,4Cu0,2MoBiAs — (0,3Ni0,2W) — (1Li0,1SrNb), но одновременно показывает, что при принятых параметрах минимального промышленного содержания элементов практический интерес могут представлять и аномалии лития. По ско-

треугольники) (рис. 1). Если в пробе содержится не-

плению проб с содержанием элементов выше нижнего уровня соответствующего ранга на карте вылеляются АГХП РУ, РП. На рис. 1, 2 показаны картографические копии (JPG) векторных карт (ArcMap), составленных по результатам геохимического опробования листа М-50-III. Аномальные пробы всех элементов, превышающие порог РУ, на отдельных участках опробованной территории образуют скопления, соответствующие рангу РУ. Характерные признаки РУ: 1) приуроченность к определенной геологической структуре; 2) широкий спектр аномальных элементов; 3) наличие отдельных проб с содержанием элементов, соответствующих рангу РП, РМ ( $K_{C_p} > 0,01$ ;  $K_{C_p} > 0,1$ ), а также известных проявлений и месторождений; 4) ранжированный ряд К<sub>с</sub> элементов образует ассоциации, характерные для рудных формаций; 5) содержание элементов продуктивной ассоциации существенно превышает кларки пород, вмещающих АГХП.

По этим признакам на территории Балейского листа выделены рудные узлы и зоны следующих рудных формаций:

золото-полиформационная, представленная в месторождениях золота Балейское, Тасеевское и ряде бо-



Рис. 2. Растровое отображение векторной карты Ундино-Поселковского потенциального рудного поля масштаба 1:100 000, составленной по результатам опробования коренных пород: геологические комплексы: 1 — амфиболитовый; 2 — габбродиоритовый; 3 — гнейсовый; 4 — гранит-гранодиоритовый; 5 — гранитный; 6 — зеленосланцевый подкомплекс; 7 — нерасчлененный; 8 — средне- верхнеюрский плутонический; 9 — среднеюрский вулканический; 10 — филлитовый подкомплекс; проявления рудных формаций: 11 — золото-кварцевая, 12 — уран-редкометалльная; содержание Li в пробах: 13 — 0,00000; 14 — 0,00001-60,00000; 15 — 60,00001-200,00000; 16 — 200,00000; 17 — 400,00001-1000,00000; 18 — аномалии Li

лее мелких месторождений и рудопроявлений. Пространственно РУ этой формации располагаются за пределами Борщевского гранит-гранодиоритового интрузивного комплекса на участках пересечения его разломами. Они имеют овальную форму, слегка вытянутую вдоль рудоконтролирующих разрывных структур. Минеральный состав руд и геохимический спектр аномалий содержат халькофильные (Cu, Pb, Ag) и редкие элементы (Mo, Bi, Sb, Hg);

золото-кварцевая, представленная в основном рудопроявлениями золотоносного кварца и сопутствующей россыпной золотоносностью. Пространственно рудопроявления и россыпи располагаются в осадочных комплексах в виде внешней оторочки Борщевского гранит-гранодиоритового массива. Характерных геохимических ореолов этой формации не установлено;

уран-редкометалльная, представленная проявлениями урана и ореолами редких элементов (Li, Tl, Sn, Ga). Анализы на уран отсутствуют. Проявления и геохимические ореолы этой формации приурочены к внутренней зоне Борщевского массива. За пределами массива редкометалльные аномалии наблюдаются вдоль выходов гранитоидов Шахтаминского средне-верхнеюрско-

> го комплекса и нижнепротерозойского Урульгинского амфиболового комплекса.

> На территории листа масштаба 1:200 000 обычно выделяются несколько РУ сходной геохимической специализации. Промышленную перспективность каждого из них необходимо оценить отдельно по локальной выборке проб, отобранных на территории соответствующего рудного узла.

> *В табл. 2* приведена статистика 11 проб, отобранных из гранодиоритов в пределах Ундино-Поселковского РП, выделенного в пределах одного из редкометалльных РУ, показанных на рис. 2. В таблицу добавлены три строки: число аномальных проб элементов в контуре РП, продуктивность элементов в тоннах на глубину 1 м и прогнозные ресурсы металлов на глубину 500 м. Границы РП выбраны по скоплению аномальных проб, выделенных по данным табл. 1. Площадь РП замерена на прогнозной карте масштаба 1:100 000 (рис. 2). Общее число проб, плотность опробования и число проб с аномальным содержанием элемента получены из таблицы атрибутов локальной выборки проб (шейп-файла). Прочие параметры вычислены по данным настоящей таблицы.

> Вычисление прогнозных ресурсов выполняется двумя способами: приближенным и более точным. Первый способ выполняется в Excel путем перемножения показателей, содержащихся в табл. 2. Продуктивность ореола РУ вычисляется по табличным данным по формуле:

$$P, T = 2,7 T/M^3 \cdot \delta C \cdot n \cdot \delta S \cdot H,$$

где п — число аномальных проб;  $\delta C$  — стандарт содержания;  $\delta S$  — плотность опробования;  $H = 1_{M}$ .



## Таблица 2

Фрагмент. Вычисление прогнозных ресурсов лития в Ундино-Поселковском потенциальном РП. Первый способ

Параметры	Li	Cr	Ni	Zn	Be	Sn	TI	Ga	Ge
Число проб	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Минимум (C <sub>min</sub> )	0	0	0	0	0	2	1,5	20	0
Максимум (С <sub>тах</sub> ):	1000	400	200	100	15	80	5	50	5
Сумма	3030	440	200	200	31	279	35	360	5
Среднее (Ĉ):	275,45	40,00	18,18	18,18	2,82	25,36	2,2	32,73	0,45
Ср. кв. откл. (δС):	320,32	113,94	57,50	38,57	3,97	22,22	1	9,62	1,44
$Ca = \hat{C} + 2C$	74,10	380,16	109,00	94,00	3,60	15,70	1,9	43,00	4,40
$K_c = C_{max}/\hat{C}$	24,2	10,0	11,0	5,5	5,3	3,2	2,3	1,5	11,0
Кларк верхней коры (К)	30,00	150,00	62,00	78,00	2,10	3,80	0,77	19	1,30
С <sub>мин. пром.</sub> (С <sub>р</sub> )	1000	25000	5000	10000	1000	1000	100	500	100
$K_{Cp} = C_{max}/C_{p}$	1,00	0,016	0,040	0,010	0,015	0,080	0,05	0,100	0,050
S = 41 км <sup>2</sup>	41	41	41	41	41	41	41	41	41
δS = 3.7 км²	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
п <sub>аном. проб</sub>	6	1	1	2	1	7	6	2	1
$K_{Sp} = n/N$	0,5	0,09	0,09	0,18	0,09	0,64	0,54	0,18	0,09
Р (Н = 1м), т = 2,7·n·δS·δC·H	19200	6829	3446	2312	238	1332	32	577	86
Q (H = 500), T = P·K <sub>Cp</sub> ·K <sub>Sp</sub> ·H	4800035,2	310428,67	156650	210168,5	10824,76	423835,6	303	52425,24	3916,259
С учетом α=0,1, т	480004	31043	15665	21017	1082	42384	30	5243	392

Примечание: рудная ассоциация Li-Sn-TI-Ga

Ресурсы (*Q*) каждого элемента определяются по формуле:

$$Q, T = P \cdot K_{Cp} \cdot K_{Sp} \cdot H,$$

где К<sub>Ср</sub> — коэффициент промышленной концентрации; К<sub>Sp</sub> – коэффициент промышленной рудоносности АГХП РУ, равный отношению числа проб, превышающих порог ранга, к их общему числу в контуре РУ; H = 500 м — глубина предполагаемой отработки. В этой формуле К<sub>Ср</sub> и К<sub>Sp</sub> приняты как независимые переменные. На самом деле, в РУ, РП и РМ между ними существует степенная зависимость, которая учитывается при вычислении ресурсов следующим более точным способом, который применяется, если по данным табл. 2 ресурсы элемента представляют промышленный интерес. Второй способ вычисления прогнозных ресурсов учитывает функцию связи  $K_{Cp}$ - $K_{Sp}$ . Его реализация показана на рис. 4 диаграммы  $K_{Cp}$ - $K_{Sp}$ . Численное значение функции связи вычисляется путем построения графика плотности распределения К<sub>Ср</sub>-К<sub>Sp</sub> в выборке проб РУ. Остальные параметры снимаются с врезки прогнозной карты РП масштаба 1:100 000, на которой изображаются ореолы главного элемента и определяется контур подсчета прогнозных ресурсов с учетом геохимической зональности РУ. В обоих способах используется коэффициент α, характеризующий долю промышленных руд в месторождениях. Численно коэффициент α определяет группу сложности геологического строения потенциального месторождения, которая является одним из основных показателей классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Показатель сложности рассчитывается

подобно коэффициенту рудоносности по соотношению числа рудных пересечений к сумме безрудных (безрудных внутриконтурных, законтурных и др.). По аналогии, при прогнозе ресурсов можно использовать следующие величины коэффициента α в зависимости от предполагаемой сложности геологического строения потенциального месторождения: 1-й группы сложности — 0.8–1.0; 2-й — 0.6–0.8; 3-й — 0.4–0.6; 4-й — 0.1– 0.4. Как правило, в пределах РУ выделяются несколько обособленных скоплений, принимаемых как потенциальные РП. Каждое из них характеризуется несколькими аномальными пробами, что не позволяет на этой стадии работ получить достоверную статистику по каждому потенциальному РП в отдельности. Поэтому при вычислении ресурсов используются значения K<sub>Sn</sub> рудного узла, а геометрические размеры РП снимаются с прогнозной карты. По такой схеме подсчитываются прогнозные ресурсы всех РУ.

Сравнительный анализ результатов счета по табл. 2 и рис. 4 показывает следующее. Согласно расчетам, приведенным в табл. 2, по количеству металла в РП до глубины 500 м Li, Sn, Ga и Tl можно отнести к потенциальным месторождениям. Однако из них только Li образует скопления, отвечающие параметрам потенциального месторождения по количеству ресурсов и содержанию в руде. Остальные элементы имеют низкое содержание и могут учитываться как объекты для попутного извлечения.

На рис. 4 показан пример расчета коэффициента промышленной рудоносности по диаграмме зависимости  $K_{Cp}$ - $K_{Sp}$ . Прогнозные ресурсы Li, вычисленные по уточненному значению коэффициента рудоносности, также представляют поисковый интерес.

# Потенциальные россыпные месторождения редких элементов

На рис. 3, 5 и в табл. 3, 4 приведены результаты прогнозной оценки по вышеописанной методике редкометалльных ресурсов листа N-53-XXXII, подготовленные по результатам геохимической съемки масштаба 1:200 000, выполненной Александровской ОМЭ. Отбор проб производился из руслового и пойменного аллювия с отмывкой (удалением) глинистой фракции. Плотность опробования потоков рассеяния в среднем составила 1 проба на 1 км<sup>2</sup>. Геология района типична для ОхотскоЧукотского вулкано-плутонического пояса с характерным широким распространением субщелочных и щелочных гранитоидов, с которыми пространственно связаны проявления редкометалльной и редкоземельной минерализации. Статистическая оценка параметров распределения элементов в 5715 пробах, отобранных на территории листа N-53- XXXII (табл. 3), показывает, что специализация региона однозначно определяется как редкоземельно-редкометалльная. По уровню накопления относительно минимально промышленных концентраций выделяются два рудных



узла, а в их пределах несколько участков скопления аномальных проб, выделенных в ранге РП ( $Kc_0 > 0,1$ ).

В табл. 3 и 4 приведены результаты подсчета прогнозных ресурсов в пределах одного их таких узлов — Амакан (№ 4), расположенного в поле меловых порфировидных гранитов, гранодиоритов, кварцевых диоритов. По результатам расчетов практический интерес представляют скопления в аллювии W и Li. Они указывают на вероятное существование коренных источников с запасами соответственно в сотни тысяч (W) и десятки тысяч (Li) тонн. При вычислении прогнозных ресурсов учитывалось, что промышленные содержания редких элементов оцениваются в окислах металлов. При пересчете элементных содержаний в окисные потенциальные ресурсы возрастают, причем наиболее значительно у элементов с малым атомным весом.

Рис. 3. Растровое отображение векторной карты аномальных геохимических полей редких и редкоземельных элементов листа N-53-XXXII масштаба 1:200 000, составленной по результатам опробования донных отложений: границы АГХП: 1 — РУ: 2 — РП–Lа, Ce: 3 — РП–Nb; 4 — РП–Li, W

### Таблица З

Фрагмент. Вычисление статистических границ АГХП листов N-53-XXXI, XXXII по результатам опробования донных осадков

Параметры	Co	Ag	Mn	w	Sn	Li	Nb	Та	Y	Yb	La	Ce	Ga
Количество, N:	5715	5715	5715	5676	5657	5716	5716	5716	5716	5712	5707	5716	5716
Минимум (C <sub>min</sub> )	1	0,04	10	2,5	0,5	5	4	10	5	1,5	50	10	50
Максимум (С <sub>тах)</sub>	100	1,2	10000	1500	100	300	100	100	400	30	600	800	80
Среднее, Ĉ:	13,26	0,10	477,93	3,21	7,63	30,00	9,85	99,98	18,24	2,02	54,46	50,90	26,82
Ср. кв. откл. (δС)	7,02	0,08	336,30	2,69	10,95	16,54	3,40	1,32	22,44	1,86	29,58	15,33	8,65
$Ca = \hat{C} + 2\delta C$	27,30	0,26	1150,54	8,59	29,53	63,08	16,65	102,63	63,12	5,74	113,62	81,55	44,11
$K_{c}^{+} = C_{max}^{-}/\hat{C} > 1,5$	7,5	11,5	20,9	466,8	13,1	10,0	10,1	1,0	21,9	14,9	11,0	15,7	3,0
Кларк верхней коры (К)	17	0,13	670	2,5	3,8	30	12	1,4	26	2,5	32	63	19
С мин. пром. (Ср)	1000	15	80000	1000	1000	1000	1000	100	2600	400	2000	2500	500
$K_{Cp} = C_{max}/C_{p}$	0,1	0,1	0,125	1,5	0,1	0,3	0,1	1	0,2	0,1	0,3	0,32	0,16

Ранговый ряд по K<sub>c</sub>: WYYbCeSnLaLi – MnCr – AuAgAsBi

Ранговый ряд по  $K_{cp}$ : WTaCeLiLaGaYSnHgNbYb – MnCoTi - AuAg





Рис. 4. Определение прогнозных ресурсов лития Ундино-Поселковского РП. Второй способ.  $Q_{Li} = S \ M^2 \cdot K_{Sp} \cdot H \ M \cdot dT/M^3 \cdot C_p \cdot \alpha = 41000000 \cdot 0.09 \cdot 500 \cdot 2.7 \cdot 1 \kappa \Gamma / \tau \cdot 0.1 = 498000 \ \tau$ 



Рис. 5. Определение прогнозных ресурсов лития РУ Амакан. Второй способ.  $Q_{Li}$  = 49000000 м<sup>2</sup>·0,001·500 м·2,7·1кг/т·0,1 = 6615 т;  $Q_{Li20}$  = 6615·5,6 = 37044 т

Вычисление прогнозных ресурсов лития РУ Амакан. Первый способ
---

Таблица 4

Параметры	w	Sn	Bi	Sc	Ti	Li	Be	Nb	Ge
Количество проб, N	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Минимум (C <sub>min</sub> )	2,5	5	0,5	5	1000	30	2	4	0,5
Максимум (С <sub>тах</sub> )	1500	120	25	10	4000	300	10	20	30
Среднее (Ĉ)	62,55682	19,18182	2,606818	5,113636	1947,727	72,04546	2,840909	12,59091	1,909091
Ср. кв. откл. (δĈ)	239,373	22,75689	5,176713	0,745163	808,6152	46,20014	2,152622	4,499082	5,344148
$Ca = C_{cp} + 2\delta \hat{C}.$	3	13	2,5	6	5355	62	3	16	1,1
$K_{c} = C_{max}/\hat{C}$	23,9782	6,255924	9,590236	1,955556	2,053676	4,164038	3,52	1,588448	15,71428
Кларк верхней коры (К)	2,5	3,8	0,33	15	3410	30	2,1	12	1,3
С мин. пром.	1000	1000	500	600	85000	1000	1000	1000	100
$K_{Cp} = C_{max}/C_{p}$	1,5	0,12	0,05	0,016667	0,047059	0,3	0,01	0,02	0,3
Число аном.проб, n	21	19	7	1	0	16	7	11	4
$K_{sp} = n/N$	0,48	0,43	0,16	0,02	0,0	0,36	0,16	0,25	0,09
<b>S</b> ,км <sup>2</sup>	49	49	49	49	49	49	49	49	49
δ <b>S</b> , км²	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P (H = 1M), T = 2,7·δS·N <sub>aHOM</sub> ·δĈ·H	13572,4	1167,4	97,8	2,0	0,0	1995,8	40,7	133,6	57,7
Q (H = 500 m), T = P·K <sub>Cp</sub> ·K <sub>Sp</sub> ·H	4858320	30247,01	389,1359	0,381049	0	108864,3	32,36271	334,0568	787,0473
С учетом α = 0,1, т	485832	3025	39	0,04		10886	3	33	19

Например, у Li ресурсы возрастают в 5,6 раза. Другим важным моментом при оценке потенциальных ресурсов Li является слабая изученность его россыпей. Если по данным отмытых донных проб содержание Li составляет 300 г/т, то в пересчете на м<sup>3</sup> аллювия содержание Li<sub>2</sub>O составит 4,2 кг/м<sup>3</sup>. При протяженности россыпей в 1–3 км по данным геохимического опробования даже при малой мощности пласта (1–3 м) ресурсы россыпей могут составлять десятки тысяч тонн окиси лития. Такие россыпи могут стать объектом старательской добычи и обогащения с целью вывоза обогащенного сырья на переработку в страны передовых технологий — Японию, Тайвань, Сингапур. Предполагается, что потенциал ресурсов редких и редкоземельных элементов на территории Охотско-Чукотского и Монголо-Охотского поясов велик и слабо изучен. Основанием для такого утверждения являются, с одной стороны, широкое развитие специализированных на редкие элементы вулкано-плутонических комплексов мезозойского возраста, с другой стороны — неполная интерпретация аналитических данных геохимических съемок прошлых лет, ориентированная преимущественно

#### Таблица 5 Оценка рентабельности геологоразведочных работ на литий

Цена металла в недрах, млн. долл. США										
Прог- нозные ресурсы, <i>Q<sub>ме</sub></i> , т	Цена за 1 т Li, долл. США	Цена всего Li, млн. долл. США	Доля затрат на ГРР, млн. долл. США	Прибыль, млн. долл. США (рентаб., %)						
86400	5000	432	0,7 (302)	130 (43)						

Примечание: Коэффициент затрат на геологоразведочные работы принят по [1, табл. 5]

на текущую потребность промышленности: полиметаллы, медь, легирующие и благородные металлы. Как показывает ретроспективный анализ геохимических данных, на повторно интерпретированных территориях имеются отчетливые признаки пропущенных редкометалльно-редкоземельных месторождений. Ключевым вопросом промышленной ценности потенциальных месторождений является минеральный источник аномальных потоков рассеяния редких элементов и, в частности, лития, т.к. сподумен в россыпях встречается редко. Вероятно, необходимо проведение специализированных опытно-методических работ, а также повторная интерпретация аналитической базы данных в первую очередь в зоне Транссиба, БАМа, газо-нефтяных магистралей.

# Оценка рентабельности геологоразведочных работ на АГХП

Дополнительный стимул для планирования поисковых работ дает оценка рентабельности. Она выполнялась нами с использованием коэффициентов затрат на геологоразведочные работы при производстве поисковых работ на аномалиях РУ, РП. Для этого использованы данные табл. 1 и 4, где приведена усредненная доля (доли единицы) в наименьшей рентабельной цене первого товарного продукта, приходящаяся на прогнозные ресурсы и запасы различных категорий, капитальные вложения и производственные затраты. В табл. 5 приведен пример вычисления рентабельности производства поисковых работ в пределах Ундино-Поселковского РП, исходя из вычисленных прогнозных ресурсов Li в коренных породах. Оценка риска от неподтверждения прогноза не учитывалась.

# Выводы

В статье схематично описывается технология геостатистического метода оценки прогнозных ресурсов по геохимическим данным с использованием ГИС-программ. Метод может быть успешно использован на стадии съемочных и поисковых работ для вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим и поисковым данным, а также на стадии оценочных работ для вычисления запасов низких категорий по результатам количественного анализа проб. Достоинство метода заключается в том, что при его реализации не используются никакие эмпирические коэффициенты, показатели, аналогии и т.д. Опыт вычисления прогнозных ресурсов по ретроспективным данным показал хорошую сопоставимость с результатами поисков и разведки [6]. Достоверность прогноза, в конечном счете, определяется качеством геологического картирования, достоверностью аналитических данных, плотностью опробования. Следует особо отметить, что для получения удовлетворительного прогноза необходимо использовать количественные методы анализа. В противном случае неизбежны пропуски месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Богатство* недр России (минерально-сырьевой и стоимостной анализ). — СПб: ВСЕГЕИ, МПР РФ, Роснедра, 2008. — 484 с.

2. *Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. — 2003. — № 7. — С. 785–792.

3. *Методические* рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. — М.: ФГУ ГКЗ, 2007.

4. *Силин И.И.* Геолого-промышленная оценка минеральных ресурсов на стадии поисков // Руды и металлы. — 2012. — № 1. — С. 53–61.

5. *Силин И.И.* Количественная оценка прогнозных ресурсов по геохимическим данным // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 6. — С. 15–25.

6. *Силин И.И*. Количественная оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых по геохимическим данным. — М.: Нобель Пресс, 2014.

© Силин И.И., 2015

Силин Игорь Иванович // igorivsil@gmail.com

УДК 549.514.553.621

Анфилогов В.Н., Кабанова Л.Я., Игуменцева М.А., Никандрова Н.К., Лебедев А.С. (ИМин УрО РАН)

# ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ПЕТРОГРАФИЯ И МИ-НЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦИТОВ БУРАЛ-САРЬДАГ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Рассмотрено геологическое строение месторождения кварцитов Бурал-Сарьдаг. Показано, что кварциты сформированы в результате гидротермальной переработки углистых кварцитов иркутной свиты, в процессе которой произошла перекристаллизация кварца, очистка исходного кварцита от углистого вещества и образование новых минералов. Область переработки ограничена разломами и имеет крутое падение. Установленные особенности геологического строения месторождения позволяют значительно увеличить прогнозные ресурсы особо чистого кварцевого сырья. Ключевые слова: кварцит, геология, минералогия, петрография, температуры гомогенезации.

Anfilogov V.N., Kabanova L.Ya., Igumentseva M.A., Nikandrova N.K., Lebedev A.S. (Institute of mineralogy UD RAS) GEOLOGICAL STRUCTURE, PETROGRAPHY AND MINERALOGY OF THE QUATZITE DEPOSIT BURAL-SARDAG (EAST SAYAN)

The peculiarity of geological structure of quartzite deposit Bural-Sardag is discussed. It is shown that quartzite of the deposit was formed by hydrothermal transformation of carbonaceous quartzite. Quartz recrystallization and its purification from carbonaceous material took place at the transformation. The zone of carbonaceous quartzite transformation is cut down by the fractures, which has heavy pitch. This structure allows to propose the big probable reserves of the pure quartz on this deposit. **Key words:** quartzite, geology, mineralogy, petrography, temperatures of homogenization.

