

## ПОТОК РАССЕЯНИЯ В КООРДИНАТАХ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Романов В.А.

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск,  
e-mail: romanov@igc.irk.ru

Окружающий нас мир содержит три пространственных измерения – длину, ширину и высоту, т.е. объем ( $V=m^3$ ). Потоки рассеяния представляют нам уникальную возможность в геологической науке использовать **четвертое измерение** – время ( $T = 1\text{год} = 31,536 \cdot 10^6 \text{сек}$ ) и перейти к новой единице – стоку отдельно взятого элемента в размерности **г/сек**.

Отбор проб по потокам рассеяния осуществляется обычно согласно Инструкции [1983]. В ней единый по своей сути поток [Романов, 2002] разделен на два самостоятельных вида: литогеохимический (механический перенос вещества в виде взвешенного в воде материала или вещества, транспортируемого водотоком по дну, т.е., для краткости, донки) и гидрогеохимический (отбор проб воды, т.е. переносимого в виде раствора вещества). При таком отборе не учитываются такие важные для дальнейших количественных расчетов показатели гидрологического режима опробуемых рек, как **время** и динамика поверхностного водного потока (модули стока взвесей и воды, соответственно,  $R_0 = \text{кг/сек}$  и  $v = \text{л/сек с } 1 \text{ км}^2$ ). Сведения об этих параметрах необходимы для определения величины ежегодного слоя денудации картируемой по потокам рассеяния территории –  $\Delta h = \text{мм/год}$ . При ее определении **вводится четвертое измерение** и объемная размерность, которая характеризует переход от площади денудированного речного бассейна к кубометрам выносимого при стоке с суши вещества: как известно, прогнозные ресурсы любого металла (полезного ископаемого) рассчитываются не на площадь, а на объем. Следовательно, количество выносимого потоком рассеяния элемента можно рассчитать, исходя из минимального объема «стекающего» вещества –  $1 \text{ м}^3/\text{год}$ . Один кубический метр выносимого вещества следует представить в виде площади в  $1 \text{ км}^2$ , денудированной водным потоком на  $1 \text{ мкм/год}$  ( $1 \text{ м}^3/\text{год} = 1 \text{ км}^2 \times 1 \text{ мкм/год} = 1 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \times 1 \cdot 10^{-6} \text{ м/год}$ ).

При определении величины прогнозных ресурсов металлов на практике используются приближенно-количественные аналитические данные по содержаниям элементов в потоке рассеяния. По ним рассчитываются *специфические* (определяются для **фракции** [Соловов, 1990]) фоновые концентрации элементов, т.е. они искусственно выделены на основе проведенных опытно-методических работ. При фракционировании мы получаем усиление полезного сигнала для одних элементов и его ослабление – для других. Но нам нужен не расчетный фон, а природные содержания элементов, обусловленные разрушенными коренными породами, т.к. они обеспечивают минимальные содержания элементов в потоке рассеяния.

Перед нами стоит задача построить модель по фактическим данным, соответствующим действительному потоку рассеяния. Иногда проверка построенных моделей не всегда возможна, особенно в тех случаях, когда получение фактических данных затруднено или невозможно. Для нашей модели потока рассеяния получение фактических данных затруднений не вызывает, следует только провести полевое опробование по предложенной ранее методике [Романов, 2008].

Если мы за основу принимаем, что поток рассеяния образуется в результате процесса выветривания, главную роль в котором играют вода и климат, и вода же транспортирует в конечные бассейны денудации разрушенный в зоне гипергенеза исходный материал коренных пород, то деление на два поисковых метода, гидро- и литогеохимический, абсурдно: вода транспортирует разрушенный материал пород в виде раствора, взвесей и волочения по дну, т.е. это – одно целое. Следовательно, отбирать 3 фазы единого целого следует в одной точке водотока с проведением замеров его гидрологических параметров.

При таком отборе проб исчезают проблемы, характерные для методики, закрепленной в Инструкции: методика отбора исходного материала проб едина (исчезает

фракционирование), а количественная оценка аномальной площади проводится по трем фазам потока рассеяния, отобранным в одной точке водотока. Анализ проб следует проводить количественными методами, т.к. возрастает значимость каждой отдельной пробы.

При построении модели выделяются основные, доминирующие факторы, а второстепенные отбрасываются. На их основе строится алгоритм, программа, использование которой позволит в дальнейшем сделать нужную корректировку для получения объективного знания об изучаемом объекте. Для потоков рассеяния такая модель будет не статичной, а динамичной: в течение года изменяются циклы стока воды – межени, весеннее половодье, дождевые паводки. Однако из года в год они повторяются, поэтому за единицу для расчетов и принимается один год.

Исходные для расчетов по предлагаемой методике основные данные можно разделить на три вида:

1. Полевые – отбор проб из трех фаз потока по объему: 1,0л отфильтрованной воды; для представительности пробы взвесей следует фильтровать не менее 3-5л воды; 0,1 дм<sup>3</sup> влекомого по дну материала, т.е. донку. В точке отбора проб обязательно замеряются: количество транспортируемых водой взвесей, площадь сечения водотока и скорость течения воды. Эти параметры необходимы для определения **расчетных величин**: модулей стока воды, взвесей и ежегодного слоя денудации, а также коэффициентов водной миграции элементов ( $K_3 = \%$ ), стока элементов в размерности г/сек, и, в конечном счете, величины прогнозных ресурсов ( $P_3 = \tau$ ).

2. Аналитические – данные **количественных** определений содержаний элементов в воде, взвесах и донке. Необходимо также определение количества вещества, выносимого водой в растворе, что делается методом выпаривания в лабораторных условиях.

3. Литературные – на первом этапе исследований к таким данным могут быть отнесены: величины кларковых содержаний элементов в разновидностях пород, слагающих исследуемую территорию, и их плотность [Справочник, 1990]; содержания элементов в речных водах [Ветров, Кузнецова, 1997]; плотность донных отложений [Овчинников, Карнаухова, 1985].

Расчеты начинаем с определения величин ежегодного слоя денудации и коэффициентов стока элементов во взвесах и растворе. Затем выделяем аномальные содержания элементов в трех фазах потока рассеяния и по ним проводим расчеты с целью определения величин прогнозных ресурсов категории  $P_3$ . Вклад вмещающих пород при этом исключается.

**Формулы для расчетов.** *Ежегодный слой денудации.*  $\Delta h = Q/S \times d$ , где:  $\Delta h$  – ежегодный слой денудации, мм/год;  $Q$  – величина стока вещества в целом, т;  $S$  – площадь, дренируемая водотоком, м<sup>2</sup>;  $d$  – плотность вещества в потоке (принимается равной 1,6 т/м<sup>3</sup> [Овчинников, Карнаухова, 1985]). *Определение величины  $Q$ .*  $Q_p = S \times v \times T \times p$ , где:  $Q_p$  – величина стока вещества в растворе, т;  $S$  – денудированная площадь, км<sup>2</sup>;  $v$  – модуль стока воды, л/сек с 1 км<sup>2</sup>;  $T$  – 1 год времени, 31,536·10<sup>6</sup> сек;  $p$  – вес сухого остатка, г/л.  $Q_b = R_o \times T$ , где:  $Q_b$  – величина стока вещества во взвесах, т;  $R_o$  – модуль стока взвесей, кг/л (или г/л);  $T$  – см. выше.  $Q_d$  – величина стока вещества, транспортируемого водотоком по дну, т, принимается равной 1/10 стока вещества во взвесах [Лопатин, 1952].  $Q = Q_p + Q_b + Q_d$  – суммарная величина стока вещества за год, т. *Определение величин коэффициентов водной миграции элементов.*  $K_3 = Q_{3p} \times 100/Q_3$ , где:  $K_3$  – коэффициент водной миграции, т.е. стока элемента в растворе, %;  $Q_{3p}$  – годовой вынос элемента в растворе, г/год;  $Q_3$  – годовой вынос элемента в растворе и во взвесах, г/год. Величина стока элемента определяется умножением его содержания в воде (г/л) на ее годовой сток (л/год); аналогично и по взвесям – содержание элемента в них (г/т) умножаются на годовой вынос вещества во взвесах (г/год). Их сумма дает величину годового стока рассчитываемого элемента и по пропорции ( $Q_3 = 100\%$ ,  $Q_{3p} = x$ ,  $x = Q_{3p} \cdot 100/Q_3$ , где  $x$  – это  $K_3$ ) определяется коэффициент его водной миграции. При расчетах следует учитывать сток воды по месяцам. *Количественная оценка и изображение результатов количественной оценки оруденения в координатах пространства – времени.* При таких расчетах, в которых

учитывается четвертая координата и вклад коренных пород, определяемый для содержаний элементов в каждой фазе потока рассеяния, дополнительных формул не требуется (см. ниже). Перспективная на оруденение площадь на основе ГИС-технологий изображается в формате 3D, а в ее центре ставится величина прогнозных ресурсов, рассчитанная на глубину в 1 м с использованием четвертой координаты.

### Методика количественных расчетов.

*Исходные данные:* допустим, что исследователем в пределах опоискованной территории выделен «аномальный» водоток, дренирующий бассейн водосбора в 10 км<sup>2</sup>, сложенный породами среднего состава – андезитами. Отбор проб проводился в августе месяце, когда сток воды составляет 22% (выше среднемесячного в 2,64 раза). Проведены замеры гидрологических параметров водотока. Получены аналитические данные содержаний элементов в воде и взвесах, а также лабораторные данные по величине сухого остатка. Из анализа геолого-структурного строения исследуемой территории и ее металлогении предполагается наличие в ее пределах полиметаллического оруденения, т.е. используются данные по содержанию цинка и свинца.

Исходные для дальнейших расчетов лабораторные данные **количественных** анализов и данные полевых исследований:  $d_{np}=1,6$  т/м<sup>3</sup>[Овчинников, Карнаухова, 1985];  $d_{анд}=2,8$  т/м<sup>3</sup>[Справочник, 1990];  $Zn_p=9,2$  мкг/л;  $Pb_p=0,92$  мкг/л;  $Zn_v=132$ г/т;  $Pb_v=73,4$  г/т; **вес сухого остатка –  $p=35$  мг/л;  $S=10$  км<sup>2</sup>;  $v=10$  л/сек с 1 км<sup>2</sup>;  $R_0=10$  г/сек.**

В качестве исходных данных для выделения аномальных содержаний элементов принимаются кларковые величины концентраций цинка и свинца в породах среднего состава. Они равны: для **Zn – 72 г/т, для Pb – 15 г/т**, [Справочник, 1990]. На первом этапе исследований для выделения аномалий можно также ориентироваться на средние содержания элементов в речных водах [Ветров, Кузнецова, 1997]: для **Zn** они равны **2мкг/л**, для **Pb – 1мкг/л**.

Сравнение полученных нами аналитических данных с литературными данными показывает, что в рассматриваемом потоке рассеяния аномальными являются содержания цинка в воде (превышение в 4,6 раза), а свинца – во взвесах (превышение в 4,9 раза).

Проведем расчеты по приведенным выше формулам.

В растворе вещества за год будет вынесено:  $Q_p = S \times v \times T \times p = (10 \text{ км}^2 \times 10 \text{ л/сек с } 1 \text{ км}^2) \times 31,536 \cdot 10^6 \text{ сек} \times 35 \text{ мг/л} = 31,536 \cdot 10^8 \text{ л} \times 35 \text{ мг/л} = 110,4 \cdot 10^9 \text{ мг/год} = \mathbf{110,4 \text{ т/год}}$ . Во взвесах эта величина будет равна:  $Q_v = R_0 \times T = 10 \text{ г/сек} \times 31,536 \cdot 10^6 \text{ сек} = 315,4 \cdot 10^6 \text{ г/год} = \mathbf{315,4 \text{ т/год}}$ . Волочение по дну обычно составляет 0,1 от количества вещества, переносимого во взвесах [Лопатин, 1952]:  $Q_d = \mathbf{31,5 \text{ т/год}}$ . Следовательно, в целом водотоком будет вынесено вещества за 1 год  $Q = Q_p + Q_v + Q_d = 110,4 \text{ т/год} + 315,4 \text{ т/год} + 31,5 \text{ т/год} = \mathbf{457,3 \text{ т/год}}$ .

Таким образом, величина ежегодного слоя денудации для рассматриваемого речного бассейна, площадь которого переведена в размерность м<sup>2</sup> (1 км<sup>2</sup> = 1·10<sup>6</sup> м<sup>2</sup>), будет равна:  $\Delta h = Q/S \cdot d = 457,3 \text{ т/год} : (10 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \times 1,6 \text{ т/м}^3) = 28,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/год} = \mathbf{28,6 \text{ мкм/год}}$ .

Далее определим коэффициенты водной миграции цинка:  $K_z = Q_{zp} \times 100 / Q_z$ . Вначале определим его количество, стекаемое в воде и взвесах за год:  $Q_{zn} = (9,2 \text{ мкг/л} \times 100 \text{ л/сек}) \times 31,536 \cdot 10^6 \text{ сек} = 29013,1 \cdot 10^6 \text{ мкг/год} = 29,013 \text{ кг/год}$ ;  $Q_{zn} = 132 \text{ г/т} \times 315,4 \text{ т/год} = 41632,8 \text{ г/год} = 41,633 \text{ кг/год}$ . Таким образом, за год поток рассеяния вынесет в транспортируемом по дну материале 2,268 кг/год цинка ( $Q_{zn} = 72 \text{ г/т} \times 31,5 \text{ т/год} = 2,268 \text{ кг/год}$ ), а его годовой вынос в целом составит **72,914 кг/год**. Следовательно, коэффициент водной миграции **цинка** составит **39,8%**:  $K_{zn} = (29,013 \text{ кг/год} \times 100\%) : 72,914 \text{ кг/год} = 39,8\%$ . Для взвесей коэффициент будет равен 57,1%:  $K_{zn} = (41,633 \text{ кг/год} \times 100\%) : 72,914 \text{ кг} = \mathbf{57,1\%}$ .

Проведем аналогичные расчеты для свинца.  $Q_{pb} = (0,92 \text{ мкг/л} \times 100 \text{ л/сек}) \times 31,536 \cdot 10^6 \text{ сек} = 2,901 \text{ кг/год}$ ;  $Q_{pb} = 73,4 \text{ г/т} \times 315,4 \text{ т/год} = 23,15 \text{ кг/год}$ ;  $Q_{pb} = 15 \text{ г/т} \times 31,5 \text{ т/год} = 0,47 \text{ кг/год}$ , а в целом – **26,52 кг/год**. Следовательно, его коэффициент водной миграции будет равен **10,9%**: ( $K_{pb} = (2,901 \text{ кг/год} \times 100\%) : 26,52 \text{ кг/год} = 10,9\%$ ), а для взвесей - **87,3%**: ( $K_{pb} = (23,15 \text{ кг/год} \times 100\%) : 26,52 \text{ кг/год} = 87,3\%$ ).

Расчет величины прогнозных ресурсов будем определять для минимального объема предполагаемого рудного тела -  $1\text{м}^3$ . Вначале надо рассчитать количество свинца и цинка, поступающее в поток рассеяния в первую очередь из вмещающих пород и только затем - из предполагаемого рудного тела. Для площади речного бассейна в  $10\text{ км}^2$  **объем андезитов**, разрушенных на  $\Delta h = 28,6$  мкм/год и занимающих  $9\text{ км}^2$  ( $1\text{ км}^2$  – предполагаемое рудное тело), составит **257,4 м<sup>3</sup>/год**, а предполагаемого **рудного тела – 28,6 м<sup>3</sup>/год**.

Рассмотрим наиболее *простой вариант* количественной оценки, при котором расчет проводится на сток элемента не за 1 секунду, а за 1 год. При определении коэффициентов водной миграции мы рассчитали величины годового фактического выноса рассматриваемых элементов. Они равны: для цинка – 72914 г/год, для свинца – 26560 г/год. Вынос же этих элементов из вмещающих пород, андезитов, составляет, соответственно (суммарно по 3 фазам потока), 52550 г/год и 11086 г/год. Следовательно, содержание цинка в 1 кубометре предполагаемого рудного тела будет равно  $712\text{г/м}^3$ :  $[(72914\text{г/год} - 52550\text{ г/год}) : 28,6\text{м}^3/\text{год} = 712\text{г/м}^3]$ , или с учетом стока воды по месяцам –  $270\text{ г/м}^3$ , что составит **270т** на 1м углубки (умножаем на  $10^6$ , т.к.  $1\text{ км}^2 \times 1\text{ м} = 1 \times 10^6\text{ м}^3$ ); для свинца эти величины будут, соответственно, равны  $541\text{г/м}^3$  или **541т** на 1м углубки.

Например. Полученные нами данные расчетов несколько меньше запасов этих элементов на таком полиметаллическом месторождении, как Ново-Широкинское, где на глубину в 1м они составляют: для цинка – 295т (по потоку – 270т), для свинца – 667т (по потоку – 541т) [АиФ, №42 от 14 октября 2010 г.]. Его площадь мы приравняли к  $1\text{ км}^2$ , что сопоставимо с таким известным месторождением как Брокен-Хилл (Австралия), площадь которого составляет  $1,8\text{ км}^2$  ( $7300\text{ м} \times 250\text{ м}$ , [Горная энциклопедия, стр. 290-291]).

Разработка представленной в данной работе методики количественной оценки оруденения по потокам рассеяния стала возможна только при использовании **четвертой координаты – времени**. Размерность г/сек является расчетной величиной и не зависит от времени отбора проб. Она зависит только от скорости стекания вещества и заложена в таких гидрохимических параметрах, как модули стока воды, взвесей и ежегодного слоя денудации речного бассейна. Использование четвертой координаты в геологии (в данном случае – для потоков рассеяния) является инновационным. По мере использования программы в расчет могут быть введены и другие параметры – климат, транспирация, ландшафт и т.д.

Основной вывод: существующую Инструкцию по геохимическому методу поисков месторождений полезных ископаемых по потокам рассеяния необходимо менять.

## Литература

Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал.- Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГИМ, 1997. – 234 с.

Горная энциклопедия / Гл. ред. Козловский Е.А. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1989, Т. 1. – 560 с.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / М-во геологии СССР. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

Лопатин Г.В. Наносы рек СССР - М.: Географгиз, 1952. – 368 с.

Овчинников А.А., Карнаухова Г.А. Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища. – Новосибирск: Наука, 1985.– 132 с.

Романов В.А. Потоки рассеяния: сток вещества с суши и водная миграция элементов // Отечественная геология. 2002. № 5-6, С. 46-50.

Романов В.А. Потоки рассеяния: теория, методика и практика. Пути дальнейшего развития // Отечественная геология. 2008. № 1. С. 78-82.

Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – 294 с.

Справочник по геохимии / Войткевич Г. В. и др. – М.: Недра, 1990. – 480с.