



УДК 550.84 (571.53)

Поток рассеяния химических элементов в координатах пространства-времени

В. А. Романов (romanov@igc.irk.ru)

Аннотация. Рассматривается поток рассеяния как единое целое – сток вещества с суши, образованный в результате процесса выветривания в пространственно-временных координатах. Разработана простая и понятная методика количественной оценки оруденения по трем фазам потока (раствор, взвеси, донные отложения). На ее основе показан пример расчета определения величины прогнозных ресурсов свинца и цинка. Сделан вывод о необходимости изменения существующей инструкции по полевому опробованию потоков рассеяния.

Ключевые слова: методика, поток рассеяния, вода, взвеси, пространство-время, модули стока вещества, количественная оценка.

Введение

Существующая методика поисков месторождений полезных ископаемых по потокам рассеяния направлена в первую очередь на выделение площадей, характеризующихся аномальным содержанием элементов. Однако по результатам геохимической съемки по потокам рассеяния больших территорий таких аномалий выделяется столько, что назрела необходимость их разбраковки, т. е. выделения наиболее перспективных на обнаружение возможного оруденения площадей. Существующая в настоящее время методика их количественной оценки по категории P_3 с этой задачей не справляется (см. ниже).

Причина здесь кроется в том, что нет единой методики полевых исследований: рекомендуется вначале проводить опытно-методические работы, по результатам которых определяется наиболее информативная **фракция и интервал опробования** (регламентируется масштабом съемки). Затем, в зависимости от масштаба проводимой геохимической съемки, определяются локальные или региональные фоновые содержания элементов, по которым и выделяются аномальные площади.

При определении фоновых концентраций элементов в их методике заложены аномальные содержания: они рассчитываются по 50% накопленной частоте, в оставшейся части которой уже есть аномальные содержания.

Если мы за основу принимаем, что поток рассеяния образуется в результате процесса выветривания, главную роль в котором играют вода и климат, и вода же и транспортирует в конечные бассейны денудации разрушенный в зоне гипергенеза исходный материал коренных пород, то де-

ление на два поисковых метода, гидро- и литогеохимический, выглядит абсурдным: вода транспортирует разрушенный материал пород в виде раствора, взвесей и волочения по дну, т. е. это одно целое. Следовательно, отбирать воду, взвеси (фильтруются из воды) и донные отложения (3 фазы единого целого) следует в одной точке водотока. Причем при отборе проб следует проводить замеры гидрологических параметров водотока.

При таком отборе проб исчезают проблемы, характерные для методики, закрепленной в существующей инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений: методика отбора исходного материала проб едина (исчезает фракционирование), а количественную оценку вышележащей аномальной площади можно проводить по трем фазам потока рассеяния, отобранным в одной точке водотока. Анализ проб следует проводить количественными методами, так как возрастает значимость каждой отдельно взятой пробы.

При проведении расчетов фоновые содержания элементов не определяются, а рассчитывается вклад рассматриваемого элемента по отдельности в каждую из отобранных фаз потока рассеяния, т. е. он будет зависеть от концентрации рассматриваемого элемента во вмещающих породах, а не от математически рассчитанного фона.

Следовательно, если мы получим все исходные для расчетов данные, то сможем не только выделить аномальную площадь, но и рассчитать величину прогнозных ресурсов определенного элемента вначале для 1 м^3 , а затем на глубину в 1 м.

Почему величину прогнозных ресурсов определяем вначале для 1 м^3 , а затем на 1 м углубки? Объяснение простое: при расчетах по потоку нам неизвестна ни площадь рудного тела, ни его мощность. Поэтому мы и «концентрируем» аномальное содержание элемента в минимальном объеме предполагаемого рудного тела. Естественно, что эта величина не будет соответствовать запасам этого элемента в рудном теле. Следовательно, нам надо найти такую величину его запасов на известном месторождении, которая будет являться истинной, но при этом нам неизвестны размеры рудного тела, т. е. как в потоке рассеяния. Такой величиной и являются его запасы, рассчитанные на 1 м углубки: запасы есть, а размеры рудного тела неизвестны (по крайней мере – его площадь, содержание, плотность и т. д.). Таким образом, *величина запасов* элемента (для потока – прогнозные ресурсы) на 1 м углубки *в коренных породах* является **точкой схождения** с величиной *прогнозных ресурсов*, рассчитанной на эту же глубину по потоку рассеяния. В этом случае сравнение запасов с прогнозными ресурсами будет корректным.

Вначале рассмотрим расчет по методике, «закрепленной» в инструкции [3; 10].

Количественная оценка оруденения по потокам рассеяния по общеизвестной методике

Геохимическая съемка по потокам рассеяния различных масштабов (от локального до регионального) проводится согласно требованиям инструкции [3]. Целью этой съемки является выявление в пределах больших территорий локальных речных бассейнов с возможной рудной минерализацией. При опoисковании таких площадей количество проб составляет величину от первых (2–6) до десятков тысяч (12–20). Причем в каждой пробе аналитическими методами (обычно – приближенно-количественными) определяются содержания не менее чем 30 элементов. Обработать такое количество данных и правильно их проинтерпретировать без привлечения математики (выделить и количественно оценить перспективные на обнаружение рудной минерализации площади) невозможно.

Последовательность обработки и интерпретации полученных геохимических данных такой съемки обычно «укладывается» в следующую схему: 1) рассчитываются локальные или региональные (зависит от масштаба съемки) фоновые содержания элементов в наиболее информативной фракции, которая определяется по результатам проведенных опытно-методических работ; 2) выделяются аномальные потоки рассеяния (от 3 и выше коэффициентов контрастности, нормированных по фоновым концентрациям определенного элемента); 3) проводится количественная оценка возможного оруденения на тот или иной металл с определением величины его прогнозных ресурсов (категория P_3) в аномальном бассейне денудации, выявленном в результате геохимической съемки по потокам рассеяния. Естественно, что при этом учитываются геолого-структурное строение выявленной аномальной площади (речного бассейна) и металлогения картируемой геохимической съемкой территории.

Если первые два пункта этой последовательности расчетов не вызывают трудности, то они начинаются при определении величины прогнозных ресурсов. Заключаются они в следующем.

В основу расчетов у А. П. Соловова [10–12] положен «идеальный» поток рассеяния, а у В. В. Поликарпочкина [6–7] – его математическая модель. Подробно ниже рассмотрим закрепленный инструкцией метод количественной оценки оруденения по А. П. Соловову.

Существующий метод количественной оценки оруденения по потокам рассеяния А. П. Соловова [10] основан на расчетах определения величины площадной продуктивности, измеряемой в метроквадратных процентах:

$$P' = S_x \cdot (C'_x - C'_\phi), \quad (1)$$

где P' – так называемая кажущаяся продуктивность потока рассеяния, $\text{м}^2 \cdot \%$; C'_x – данные аналитиков по содержаниям элементов в литохимической фракции потока рассеяния, $\%$; C'_ϕ – фоновое содержание элемента, рассчитываемое по потокам рассеяния на заведомо безрудных площадях по 50 % накопленной частоте, $\%$; S_x – вышележащая площадь, денудированная аномальным потоком рассеяния, м^2 .

Переход от «кажущейся» продуктивности потока рассеяния к «истинной» осуществляется по формуле:

$$P'_i = P'_{\max} \{ [1 - (S_{R0}/S_R)] / [1 - (S_{R0}/S_R)^{\alpha'}] \} = \lambda' P'_{\max}, \quad (2)$$

где P'_i , P'_{\max} – продуктивность потока рассеяния, соответственно, «истинная» и максимальная, $\text{м}^2 \cdot \%$; S_{R0} , S_R – площадь бассейна денудации в начале и в конце поступления рудного материала в поток рассеяния, м^2 ; α' – так называемый склоновый коэффициент аллювия. Поправочный множитель, равный $\lambda' < 1$, рассчитывается по номограмме, по значениям α' и S_{R0}/S_R [10, с. 74]. Величина коэффициента α' рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha' = \lg [(C'_R - C'_\phi) / (C'_x - C'_\phi)] / \lg (S_x / S_R), \quad (3)$$

где C'_R – содержание элемента в конце поступления материала из рудного тела в поток рассеяния.

Далее, получив величину «истинной» продуктивности потока рассеяния, определяют величину прогнозных ресурсов металла по формуле:

$$Q'_H = 1/(k' \cdot k) \times 1/40 \times H \sum_{i=1}^m P'_i, \quad (4)$$

где Q'_H – прогнозные ресурсы металла, подсчитанные на целесообразную глубину (H) оруденения, т; $1/(k' \cdot k)$ – коэффициенты пропорциональности; $1/40$ – отвечает переходу от метроквадратных процентов к тоннам металла.

Несоответствие расчетных величин прогнозных ресурсов полезного компонента величинам его запасов на известных рудных объектах, как видно из вышеприведенных формул, устранялось (кроме α' и λ') посредством введения коэффициентов k и $1/k'$ [10; 12]. При отборе исходного материала проб (информативной фракции) в таких расчетах не учитывались ни динамика речного водотока, ни фактор времени, ни подвижность элементов в зоне гипергенеза. Не учитывался также и такой важный гидрологический параметр как ежегодный слой денудации дренируемого водотоком бассейна, позволяющий проводить расчеты в координатах пространства-времени.

Дискуссия

Рассмотрим целесообразность расчетов по вышеприведенным формулам. Ошибка, на взгляд автора, заключается здесь в первую очередь в методике отбора исходного материала проб потока рассеяния. По существующим методикам отбираются или осажденные на ступенях русловой отмели илы [6], или влекомый по дну водотока аллювий [10]. Но в результате *выветривания*, главенствующая роль в котором принадлежит воде, разрушенный материал водой же и переносится в виде взвесей, раствора и волочения по дну, т. е. все эти пробы в сумме и являются единым целым – потоком рассеяния. Таким образом, если из единого целого [8; 9] отобрать какую-либо его часть (взвеси или влекомый по дну водотока материал), причем неизвестно какую, а потом эту неизвестную часть (литогеохимиче-

скую) еще и уменьшить (выделить наиболее информативную фракцию ситованием, с размером ячеек в 0,5 или 1,0 мм [10, с. 78]) и тоже неизвестно на сколько, то такой отбор исходных проб вряд ли позволит корректно проводить количественную оценку без введения в расчетные формулы различных коэффициентов и поправочных множителей. Кстати, выделение какой-либо фракции опробуемого материала потока рассеяния преследует цель *усиления полезного сигнала*, т. е. получения более высоких содержаний элементов в этом гранулометрическом классе по отношению ко всей его массе. Для одних элементов в этом случае получим усиление этого сигнала, для других – разубоживание. Другая сторона вопроса заключается в проведении расчетов по определению фоновых содержаний элементов. В классической формуле по подсчету запасов металлов для любых рудных объектов нет такой размерности, как фоновая ($C'_ф$) концентрация элемента, которую следует вычитать:

$$P = C \cdot V \cdot d \quad (6)$$

где P – запасы полезного компонента, т; C – содержание элемента (компонента), % или г/т; V – объем рудной залежи, м³; d – плотность рудного тела, г/см³ или т/м³.

Определяя $C'_ф$ по усиленному полезному сигналу, а на его основе – аномальные потоки рассеяния (возможные рудные объекты), мы заведомо получаем весьма значительное количество таких «перспективных» на поиски оруденения площадей. Заведомо, потому что почти все содержания элементов минимум в 3 раза превышающие 50 % накопленной частости, т. е. определяемой нами величины $C'_ф$, большей частью являются ложными, точнее – *искусственно* выделенными (на основе фона) аномалиями. Поэтому вычленив из них действительно перспективные на оруденение площади, при их большом числе, можно только на основе корректно проведенной количественной оценки. Ее невозможно сделать по вышеприведенным формулам, в основе которых лежит усиленный нами сигнал, а не истинное содержание элемента в потоке рассеяния (воде, взвесах и влекомом по дну материале). Таким образом, выделяя такие аномальные площади по результатам проведенной по существующей общепринятой методике геохимической съемки по потокам рассеяния, мы создаем себе проблему, а потом пытаемся ее решить с помощью математических расчетов.

Третья проблема, одна из самых важных, заключается в переходе от площадной продуктивности потока рассеяния к объему, на который рассчитываются прогнозные ресурсы того или иного металла. Площадь (S) является только частью объема (V). По потокам рассеяния невозможно определить такую величину, как мощность (m). Следовательно, приходится вынужденно или приравнять ее к единице (1 м), что, на взгляд автора, является неприемлемым, или сразу умножить на целесообразную глубину оруденения [12]. В случае $m = 1$ м исключительную роль для количественной оценки приобретает размер дренируемой аномальным потоком рассеяния площади: чем она больше, тем выше будет величина прогнозных ре-

сурсов при равных аномальных содержаниях рассчитываемого элемента (компонента). Выход из этого тупика автору представляется в следующем.

Как было отмечено ранее [8; 9], вода, взвеси и влекомые речным потоком наносы являются частями единого целого – стока вещества с суши. Следовательно, необходимо отбирать из одной точки опробуемого водотока одновременно все эти компоненты единого целого по объему (взвеси – по весу) и обязательно с замером таких параметров водотока, которые необходимы для дальнейших расчетов величин стока определенного элемента как в растворе, так и в твердой фазе потока рассеяния. К таким величинам относятся модули стока взвесей и воды: соответственно R_0 и v . На их основе рассчитывается ежегодный слой денудации (Δh) картируемой территории (отдельно по каждому речному бассейну). Эта величина имеет очень важное значение для дальнейших расчетов. Она характеризует объем выносимого водотоком материала, следовательно на ее основе можно осуществить переход к кубометрам стекаемого в секунду вещества (см. ниже). Проводить количественную оценку следует также исходя из минимальной величины времени – 1 год ($T = 1 \text{ год} = 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год}$). За этот период весьма значительно изменяется режим стока воды – основного агента деинтеграции коренных пород и переноса вещества, т. е. из года в год этот режим повторяется и в дальнейшем следует учитывать этот сток по месяцам года (на основе мониторинговых наблюдений за режимом рек). Таким образом, кроме привычных для нас трех измерений (x , y и z), для потоков это $S \cdot \Delta h$, мы можем использовать в расчетах четвертое измерение – время, так как Δh имеет размерность мм/год.

Кроме того, если мы получили величины модулей стока элементов и аналитические данные, то сможем определить такие параметры стока элементов, которые на первый взгляд кажутся парадоксальными. Это расчетная величина стока элемента в размерности г/с. Например, содержание элемента в воде определяют в размерности г/л, а если мы измерим дебит опробуемого водотока, т. е. сколько литров воды стекает в секунду, то их произведение и дает размерность г/с ($\text{г/л} \cdot \text{л/с} = \text{г/с}$). То же относится и к взвесям, но получаемая размерность будет зависеть от того, в каких единицах мы измерили сток взвесей: если в тоннах за секунду, то это будет г/сек ($\text{г/т} \cdot \text{т/с} = \text{г/с}$); если в кг/с, то будет мг/с ($\text{мг/кг} \cdot \text{кг/с} = \text{мг/с}$), а если в граммах – то мкг/с ($\text{мкг/г} \cdot \text{г/с} = \text{мкг/с}$). С другой стороны, эта размерность с учетом четвертой координаты – времени, на взгляд автора, является сутью потока рассеяния. Она показывает не сток вещества в целом, а сток каждого элемента в отдельности, *рассчитываемый в координатах пространства-времени на момент отбора исходного материала проб*, что является самым важным для геохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых, каковым является метод потоков рассеяния.

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, применительно к потоку рассеяния, представляем в виде площади в 1 км^2 , денудирруемую

водным потоком на 0,001 мм/год ($1 \text{ км}^2 \cdot 0,001 \text{ мм/год} = 1 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ м/год} = 1 \text{ м}^3/\text{год}$).

При подсчете прогнозных ресурсов должны использоваться только количественные аналитические данные по содержаниям элементов в потоке рассеяния, так как огромное значение приобретает одна проба (3 фазы единого по сути потока рассеяния), а не их десятки. При определении величины прогнозных ресурсов по потоку рассеяния следует также учитывать концентрации элементов, поставляемые в него дренируемыми водотоком коренными породами, слагающими опробуемый речной бассейн. Вмещающие породы обеспечивают минимальное содержание элемента в каждой фазе потока рассеяния, на фоне которого и выделяются аномалии.

Теоретическое обоснование и формулы для расчетов

Исходные для расчетов по предлагаемой методике данные можно разделить на два типа:

1. Аналитические – данные количественных определений содержаний элементов в трех фазах потока рассеяния: воде ($C_p = \text{г/л}$, т. е. в растворе), взвесах ($C_s = \text{г/т}$, в фильтрате из воды) и влекомому по дну водотока материале ($C_d = \text{г/т}$, литоматериал из-под воды, т. е. донные отложения). В лабораторных условиях определяются также данные по плотности коренных пород, слагающих опробуемую территорию. Необходимо также определение количества вещества, выносимого водой в растворе ($p = \text{г/л}$, т. е. сухой остаток), что делается методом выпаривания в лабораторных условиях.

2. Полевые – отбор проб из трех фаз потока по объему: 1,1 л отфильтрованной воды; для представительности пробы взвесей следует фильтровать не менее 3 л воды; 0,1 дм^3 влекомого по дну материала. В точке отбора проб обязателен замер гидрологических параметров водотока (площадь сечения водотока и скорость течения воды, т. е. определение дебита стока воды, а также количество транспортируемых ею взвесей). По этим параметрам определяются модули стока воды ($v = \text{л/с с } 1 \text{ км}^2$) и взвесей ($R_0 = \text{кг/с}$). Следует заметить, что модули стока воды и взвесей являются размерностями, в которых использована четвертая координата – время.

Расчеты начинаем с определения величин ежегодного слоя денудации ($\Delta h = \text{мм/год}$) и коэффициентов стока элементов во взвесах и растворе ($K_s = \%$). Затем определяем аномальные содержания элементов в фазах потока рассеяния и по ним проводим расчеты с целью определения величин прогнозных ресурсов категории R_3 , исключая при этом вклад в орудование вмещающих пород.

Формулы для расчетов. Ежегодный слой денудации. $\Delta h = Q/(S \cdot d)$, где: Δh – ежегодный слой денудации, мм/год; Q – величина стока вещества в целом, т/год; S – площадь, дренируемая водотоком, м^2 ; d – плотность вещества в потоке (принимается равной $1,6 \text{ т/м}^3$ [4]). Определение величины Q . $Q_p = S \cdot v \cdot T \cdot p$, где Q_p – величина стока вещества в растворе, т/год; S – дренируемая площадь, км^2 ; v – модуль стока воды, л/с с 1 км^2 ; T – 1 год

времени, $31,536 \cdot 10^6$ с/год; p – вес сухого остатка, г/л. $Q_6 = R_0 \cdot T$, где Q_6 – величина стока вещества во взвесах, т/год; R_0 – модуль стока взвесей, кг/с (или г/с); T – см. выше. Q_7 – величина стока вещества, транспортируемого водотоком по дну, т/год, принимается равной 1/10 стока вещества во взвесах [4; 8]. $Q = Q_p + Q_6 + Q_7$ – суммарная величина стока вещества, т/год. *Определение величин коэффициентов водной миграции элементов.* $K_3 = (Q_{zp} \cdot 100)/Q_3$, где K_3 – коэффициент водной миграции, т. е. стока элемента в растворе, %; Q_{zp} – вынос элемента в растворе, г/год; Q_3 – вынос элемента в растворе и во взвесах, г/год. *Определение годового стока элементов.* Данные анализа по содержанию элемента в воде (г/л) умножаются на годовой сток воды (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 $(Q_3 - 100\%, Q_{zp} - x, x = (Q_{zp} \cdot 100)/Q_3$, 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 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.

Для потоков, как было отмечено выше, рассчитываются величины **прогнозных ресурсов** категории P_3 .

Объем стекающего вещества для потоков рассчитывается умножением площади на величину ежегодного слоя денудации. Следует помнить, что 1 км^2 площади, умноженный на 1 мкр равняется 1 м^3 . Следовательно, и прогнозные ресурсы рассчитываются вначале на один кубометр, а затем на глубину в 1 м или на целесообразную глубину оруденения, т. е. глубину, на которую подсчитаны запасы этих элементов на месторождении, если такое находится в пределах площади, опоискованной по потокам рассеяния.

Пример расчета

Исходные данные: допустим, что исследователем в пределах опоискованной территории выделен «аномальный» водоток, дренирующий бассейн водосбора в 10 км^2 , сложенный породами среднего состава – андезитами. Отбор проб проводился в августе, когда сток воды составляет 22 % (выше среднемесячного в 2,64 раза). Проведены замеры гидрологических параметров водотока, позволяющие рассчитать величины модулей стока воды и взвесей, а на их основе рассчитать величину ежегодного слоя денудации. 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 полиметаллическо-

го оруденения. Поэтому мы используем в качестве примера только данные по результатам анализов содержаний цинка и свинца.

Приведем исходные для дальнейших расчетов лабораторные данные количественных анализов и данные полевых исследований: $d_{np}=1,6 \text{ т/м}^3$; $d_{ано}=2,8 \text{ т/м}^3$; $Zn_p=9,2 \text{ мкг/л}$; $Pb_p=0,92 \text{ мкг/л}$; $Zn_г=132 \text{ г/т}$; $Pb_г=73,4 \text{ г/т}$; вес сухого остатка $-p=35 \text{ мг/л}$; $S=10 \text{ км}^2$; $v=10 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$; $R_0=10 \text{ г/с}$.

Если при полевых исследованиях мы не произвели отбор пород, слагающих денудированный рассматриваемым водотоком бассейн (в данном случае – андезитов), то в качестве исходных данных для выделения аномальных содержаний элементов мы принимаем кларковые величины концентраций цинка и свинца в породах среднего состава. Они равны: для Zn – 72 г/т, Pb – 15 г/т, [12]. На первом этапе исследований для выделения аномалий можно также ориентироваться на средние содержания элементов в речных водах [1]: для Zn они равны 2 мкг/л, Pb – 1 мкг/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 взвесьях (превышение в 4,9 раза).

Вначале, по вышеприведенным формулам, определим величину ежегодного слоя денудации. Для этого нам необходимо определить величины стока вещества, выносимого водотоком за 1 год в каждой фазе потока – взвесьях, растворе и донке.

Один год берется потому, что в течение него повторяются циклы стока воды – межени, весенние половодья и летние дождевые паводки, т. е. следует учитывать сток воды по месяцам. Из-за отсутствия таких исследований для картируемой территории (мониторинговых) можно использовать литературные данные. Однако влияние таких ежегодных вариаций стока воды на содержания элементов мы вынуждены минимизировать и принять следующее допущение: произведение минимального содержания элемента на максимальный расход воды принимается равным произведению с максимальным содержанием элемента на минимальный расход воды. Это допущение будет, вероятно, справедливо для труднорастворимых элементов, их соединений (минералов), и потребует дополнительных исследований для легкорастворимых минералов, например бор. В обычных минеральных формах он является труднорастворимым элементом, а если он находится в форме людвигита, то становится легкорастворимым и промежуточных форм нахождения не дает, а сразу переходит в раствор, т. е. во время дождевого паводка возрастает уровень его содержания в воде, если водоток дренирует месторождение с людвигитом. Далее переходим непосредственно к расчетам.

В растворе вещества за год будет вынесено: $Q_p = S \cdot v \cdot T \cdot p = (10 \text{ км}^2 \cdot 10 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2) \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} \cdot 35 \text{ мг/л} = 31,536 \cdot 10^8 \text{ л/год} \cdot 35 \text{ мг/л} = 110,4 \cdot 10^9 \text{ мг/год} = 110,4 \text{ т/год}$. Во взвесьях эта величина будет равна: $Q_г = R_0 \cdot T = 10 \text{ г/с} \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 315,4 \cdot 10^6 \text{ г/год} = 315,4 \text{ т/год}$. Волочение по дну обычно составляет 0,1 от количества вещества, переносимого во взвесьях [5, 10]:

$Q_6 = 31,5$ т/год. Следовательно, в целом водотоком будет вынесено вещества за 1 год: $Q = Q_p + Q_6 + Q_i = 110,4$ т/год + 315,4 т/год + 31,5 т/год = 457,3 т/год.

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

Далее определим коэффициенты водной миграции цинка: $K_3 = (Q_{zp} - 100) / Q_3$. Вначале определим его количество, стекаемое в воде и взвесьях за год: $Q_{Zn} = (9,2 \text{ мкг/л} \cdot 100 \text{ л/с}) \times 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 29013,1 \cdot 10^6 \text{ мкг/год} = 29,013 \text{ кг/год}$; $Q_{Zn} = 132 \text{ г/т} \cdot 315,4 \text{ т/год} = 41\,632,8 \text{ г/год} = 41,633 \text{ кг/год}$. Таким образом, за год поток рассеяния вынесет в транспортируемом по дну материале 2,268 кг/год цинка ($Q_{Zn} = 72 \text{ г/т} \cdot 31,5 \text{ т/год} = 2,268 \text{ кг/год}$), а его годовой вынос в целом составит 72,914 кг/год. Следовательно, коэффициент водной миграции цинка составит 39,8%: $K_{Zn} = (29,013 \text{ кг/год} \cdot 100 \%) : 72,914 \text{ кг/год} = 39,8\%$. Для взвесей коэффициент будет равен 57,1%: $K_{Zn} = (41,633 \text{ кг/год} \cdot 100 \%) : 72,914 \text{ кг} = 57,1 \%$.

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

Количественная оценка

Расчет будем проводить отдельно не только по каждой фазе потока рассеяния, но и отдельно как по свинцу, так и по цинку.

В связи с тем, что *расчет величины прогнозных ресурсов мы определяем для 1 м³*, значит нам надо рассчитать количества свинца и цинка, поступающие в поток рассеяния в первую очередь из вмещающих пород и только затем – из предполагаемого рудного тела. Для площади речного бассейна в 10 км² объем андезитов, разрушенных на $\Delta h = 28,6 \text{ мкм/год}$ и занимающие 9 км² (1 км² – предполагаемое рудное тело), составит 257,4 м³/год, а предполагаемого рудного тела – 28,6 м³/год.

Цинк. *Взвеси.* Вначале определим количество цинка, которое содержит 1 м³ андезитов. Эта величина будет равна 201,6 г/м³ ($72 \text{ г/т} \cdot 2,8 \text{ т/м}^3 = 201,6 \text{ г/м}^3$). Во взвеси из этого количества переходит только 57,1% (в величинах этих коэффициентов учтен вклад донных отложений), следовательно, в них это содержание будет составлять: $201,6 \text{ г/м}^3 \cdot 0,571 = 115,1 \text{ г/м}^3$. За год андезиты поставят во взвеси потока рассеяния: $115,1 \text{ г/м}^3 \cdot 257,4 \text{ м}^3/\text{год} = 29\,630 \text{ г/год}$. В размерности г/сек это будет составлять: $29\,630 \text{ г/год} : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 940 \cdot 10^{-6} \text{ г/с} = 940 \text{ мкг/с}$. Фактически, совместно с предполагаемым рудным телом, цинка взвесьями выносятся 1320 мкг/с ($41\,633 \text{ г/с} : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 1320 \text{ мкг/с}$). Следовательно, вклад рудного тела в содержания цинка во взвесьях составит 380 мкг/с, а за год – 11 984 г/год. Это ко-

личество цинка поставляют $28,6 \text{ м}^3/\text{год}$ разрушенного рудного тела. Следовательно, в нем цинка будет содержаться $419 \text{ г/м}^3 [(380 \text{ мкг/с} \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год}) : 28,6 \text{ м}^3 = 419 \text{ г/м}^3]$.

Далее рассчитаем количество цинка, поступающее в поток рассеяния из андезитов в раствор за 1 с: $(201,6 \text{ г/м}^3 \cdot 0,398 \cdot 257,4 \text{ м}^3/\text{год}) : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 20\,652,95 \text{ г/год} : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 654,9 \text{ мкг/с}$. Фактически в растворе его содержание равно 920 мкг/с , следовательно, рудное тело обеспечивает поступление в раствор $265,1 \text{ мкг/с}$ цинка, что составит $8360,2 \text{ г/год}$ из $28,6 \text{ м}^3/\text{год}$, т. е. его содержание в 1 м^3 рудного тела будет равно $292,3 \text{ г/м}^3 (8360,2 \text{ г/год} : 28,6 \text{ м}^3/\text{год} = 292,3 \text{ г/м}^3)$.

Таким образом, суммарное содержание цинка в 1 м^3 рудного тела будет равно: $(419 \text{ г/м}^3 + 292,3 \text{ г/м}^3) = 711,3 \text{ г/м}^3$, а на 1 м углубки ($1 \text{ км}^2 \cdot 1 \text{ м} = 1 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ м} = 1 \cdot 10^6 \text{ м}^3$) – **711,3 т**.

Свинец. *Взвеси.* Вначале определим количество свинца, содержащееся в 1 м^3 андезитов. Оно будет равно $42 \text{ г/м}^3 (15 \text{ г/т} \cdot 2,8 \text{ т/м}^3 = 42 \text{ г/м}^3)$, из которого $36,7 \text{ г}$ переходит во взвеси ($42 \text{ г/м}^3 \cdot 0,873 = 36,7 \text{ г/м}^3$). Это составит $9437,83 \text{ г/год}$ свинца, поступающих во взвеси потока из андезитов ($36,7 \text{ г/м}^3 \cdot 257,4 \text{ м}^3/\text{год} = 9437,83 \text{ г/год}$) или $299,3 \text{ мкг/с} (9437,83 \text{ г/год} : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 299,3 \text{ мкг/с})$. Фактически же во взвесах его вынос в секунду равен 734 мкг/с , а это значит, что вынос свинца из рудного тела составит $434,7 \text{ мкг/с}$. За год $28,6 \text{ м}^3$ рудного тела поставят свинца во взвеси потока $13\,708,7 \text{ г/год}$, что будет равно $479,3 \text{ г}$ его содержания в $1 \text{ м}^3 (434,7 \text{ мкг/с} \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} : 28,6 \text{ м}^3/\text{год} = 479,3 \text{ г/м}^3)$.

Далее рассчитаем количество свинца, поступающее в поток рассеяния из андезитов в раствор за 1 секунду: $(42 \text{ г/м}^3 \cdot 0,109 \cdot 257,4 \text{ м}^3/\text{год}) : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 1178,4 \text{ г/год} : 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} = 37,4 \text{ мкг/с}$. Фактически в растворе его содержание равно 92 мкг/с , следовательно, рудное тело обеспечивает поступление в раствор $54,6 \text{ мкг/с}$ свинца. За год $28,6 \text{ м}^3$ рудного тела поставят свинца в раствор $1721,9 \text{ г/год}$, что будет равно $60,2 \text{ г}$ его содержания в $1 \text{ м}^3 (54,6 \text{ мкг/с} \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ с/год} : 28,6 \text{ м}^3/\text{год} = 60,2 \text{ г/м}^3)$. Таким образом, суммарное содержание свинца в 1 м^3 рудного тела будет равно $539,5 \text{ г/м}^3 (479,3 \text{ г/м}^3 + 60,2 \text{ г/м}^3 = 539,5 \text{ г/м}^3)$, а на глубину в $1 \text{ м} – 539,5 \text{ т}$.

Рассмотрим более *простой вариант* количественной оценки, при котором расчет проводится не на сток элемента в секунду, а сразу на 1 год. При определении коэффициентов водной миграции рассматриваемых элементов мы определили величины годового фактического выноса рассматриваемых элементов. Они равны: для цинка – $72\,914 \text{ г/год}$, свинца – $26\,560 \text{ г/год}$. Вынос же этих элементов из вмещающих пород, андезитов, составляет, соответственно (см. выше), $52\,550 \text{ г/год}$ и $11\,086 \text{ г/год}$. Следовательно, содержание цинка в 1 м^3 предполагаемого рудного тела будет равно (делим на $28,6 \text{ м}^3/\text{год}$) 712 г/м^3 или 712 т на 1 м углубки; для свинца эти величины будут, соответственно, равны 541 г/м^3 или 541 т на 1 м углубки. Незначительное расхождение в величинах P_3 ($711,3–712 \text{ т}$ и $539,5–541 \text{ т}$) связано с проводимой точностью расчетов. Если учитывать сток по месяцам (август,

см. выше) для цинка, как более подвижного элемента, то его прогнозные ресурсы составят величину в 270 т ($712 \text{ т} : 2,64 = 270 \text{ т}$).

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

Если мы сравним расчет по существующей методике, то сможем получить их только по одной фазе потока рассеяния – литогеохимической. Попытка В. В. Поликарпочкина проведения такой оценки по гидрогеохимическим данным [7] широкого распространения не получила.

Примем за фоновые содержания свинца и цинка величины, наиболее часто получаемые по результатам литогеохимического опробования. Для Pb эта величина будет равна 17 г/т, для Zn – 62 г/т. Значения k' примем равными 1, [10, с. 84], а «истинная» продуктивность будет равна «кажущейся». При $H = 1$, т. е. на 1 м углубки, прогнозные ресурсы будут завышены: для Pb в 2 раза (1375 т), для Zn – в 6 раз (1750 т).

Заключение

Разработка представленной в данной работе простой и понятной методики количественной оценки оруденения по потокам рассеяния стала возможна только при использовании четвертой координаты – времени. Применение пространственных координат и скорости, несмотря на то, что не обладают абсолютным характером (в физическом смысле), являются приближением к абсолютной истине.

Размерность г/с 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, о чем отмечено в [14]. По мере ее использования в расчеты могут быть введены и другие параметры – климат, транспирация, ландшафт и т. д.

Существующую инструкцию по геохимическому методу поисков месторождений полезных ископаемых по потокам рассеяния необходимо менять: деление единого целого на два самостоятельных метода является абсурдным.

Список литературы

1. Ветров В. А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В. А. Ветров, А. И. Кузнецова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГИМ, 1997. – 234 с.
2. Горная энциклопедия / Е. А. Козловский [и др.]. – М. : Изд-во «Советская энциклопедия». – Т. 1. Аа-лава – Геосистема, 1989. – 560 с., илл., 20 л. илл.

3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / М-во геологии СССР. – С. В. Григорян [и др.]. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
4. Лопатин Г. В. Наносы рек СССР / Г. В. Лопатин. – М. : Географгиз, 1952. – 368 с.
5. Овчинников А. А. Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища / А. А. Овчинников, Г. А. Карнаухова. – Новосибирск : Наука, 1985. – 132 с.
6. Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния / В. В. Поликарпочкин. – Новосибирск: Наука, 1976. – 407 с.
7. Поликарпочкин В. В. Математическая модель гидрогеохимического потока рассеяния и количественная оценка оруденения на ее основе / В. В. Поликарпочкин, Г. А. Белоголова // Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений. – Новосибирск : Наука, 1982. – С. 12–27.
8. Романов В. А. Потоки рассеяния: сток вещества с суши и водная миграция элементов / В. А. Романов // Отечествен. геология. – 2002. – № 5–6. – С. 46–50.
9. Романов В. А. Потоки рассеяния: теория, методика и практика. Пути дальнейшего развития / В. А. Романов // Отечествен. геология. – 2002. – № 5–6. – С. 46–50.
10. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А. П. Соловов. – М. : Недра, 1990. – 294 с.
11. Соловов А. П. Оценка оруденения по литохимическим потокам рассеяния / А. П. Соловов, Ю. В. Шваров // Разведка и охрана недр. – 1980. – № 1. – С. 25–30.
12. Геохимические методы поисков рудных месторождений : сб. задач / А. П. Соловов [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – 234 с.
13. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 480 с.
14. Четырехмерное моделирование в геологии – новое инновационное направление в науках о Земле. <http://www.geol.msu.ru/iop-msu/10B3/3D.htm>

Stream sediments elements in coordinates of space and time

V. A. Romanov

Annotation. We consider, stream sediment as a single whole – flow of substance from the land, which is formed as a result of weathering in coordinates of space and time. We have worked out an easy and clear method of quantitative estimation of mineralization from three phases of stream sediments (solution, suspension, bottom sediments). Based on this method we show the example of calculation of probable reserves of lead and zinc. We have come to the conclusion about necessity to change the existent method of sampling from stream sediments.

Key words: methods, stream sediments, water, suspensions, space and time, flow module, quantitative estimation.

Романов Виктор Александрович
кандидат геолого-минералогических наук
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
старший научный сотрудник
тел.: (3952) 42–27–50

Romanov Viktor Alexandrovich
Ph. D. in Geology and Mineralogy
Vinogradov Institute of Geochemistry SB
RAS
1a, Favorsky St., Irkutsk, 664033
senior worker scientist
tel.: (3952)42–27–50