

А. Л. АЛЕКСАНДРОВ, Ф. В. ДАНИЛОВ

**О ВЛИЯНИИ ОБЪЕМНЫХ СООТНОШЕНИЙ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД
В СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ
СРЕДНИХ СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 17 XII 1969)

Оценки средних содержаний, характеризующие первичную распространенность химических элементов в породах отдельных регионов, обычно представляют собой либо результат формального осреднения имеющегося по региону аналитического материала, либо результат осреднения с учетом площадной распространенности геологических объектов. В конечном итоге приводимые средние значения отражают картину, наблюдаемую на современном уровне эрозионного среза, которая может претерпеть определенные изменения при переходе к расчетам, учитывающим данные по глубинному строению территории.

Построение расчетов на основе данных по глубинному строению влечет за собой необходимость учитывать весьма различные факторы, которые могут повлиять на систему региональных оценок средних содержаний⁽¹⁾. К числу факторов, могущих изменить полученную на поверхности картину, следует отнести возможную непропорциональность между истинными объемами геологических тел и площадями выхода их на поверхность, изменение химизма геологических объектов по вертикали, достоверность реконструкций геометрии геологических тел, и в частности обоснованность уровня принимаемой нижней границы, и ряд других. Значение каждого из факторов при таких расчетах, очевидно, не одинаково, и представляется интересным на конкретном примере оценить влияние некоторых из них.

В качестве примера мы обратились к гранитоидам Витимо-Патомского нагорья (Байкальская горная область), статистические данные по распределению щелочных металлов в которых были опубликованы ранее⁽²⁾. При этом мы рассматриваем характер изменения региональных оценок, обусловленный одним из факторов, а именно, диспропорцией между площадями выхода гранитоидов на поверхность и их фактическими объемами, которая, в конечном счете, вызвана различиями в глубинной распространенности формационных типов гранитоидов.

В Витимо-Патомском нагорье выделяются следующие формационные типы гранитоидов. Мамско-оронские гранитоиды (Pt_3) — мигматит-плаггиогранитовой формации, представленные широко распространенными биотитовыми гнейсовыми гранитами, плаггиогранитами, пегматоидными гранитами, теньевыми гранито-гнейсами и полями мигматизации. Тельмамские граниты (Pt_2) — представленные крупным батолитовым телом амфиболовых, биотит-амфиболовых и пироксен-амфиболовых гранитов. Витимские граниты (Pz_1), в состав которых, в пределах данной территории, объединены мезо-гипабиссальные штоки биотитовых гранитов гранит-лейкогранитовой формации.

В гравитационном поле (аномалии Буге) Витимо-Патомского нагорья формационные типы гранитоидов характеризуются довольно резкими различиями⁽³⁾.

Батолитовое тело тельмамских гранитов выделяется крупным региональным минимумом силы тяжести. Отдельные штоки витимских

Геолого-геофизическая характеристика гранитоидов Витимо-Шатомского нагорья

Характеристики	Гранит-лейкогранитовая формация					Батолитовая формация — тельмамские граниты	Мигматит-плагио-гранитовая формация — мамско-оронские гранитоиды
	Константинский шток	Джегдонарский шток	Брыгаунский шток	Сельский шток	Верхнекуинский шток		
Площадная распространенность, S , км ²	2	220	610	980	760	4600	3800
Глубина залегания нижней кромки возмущающей массы $z = 2 \cdot h$ км	1,3	4	5	14	10	16	3
Масса тела, $m \cdot 10^{11}$ т.	0,07	23	80	360	200	1930	300

Примечание. Площадная распространенность определена на основе (?), с уточнением по материалам государственной геологической и гравиметрической съемок и личных полевых наблюдений.

$$h \leq \frac{0,65 \Delta \sigma_{\max}}{|\Delta \sigma'_{\text{град}}|}, \quad (4)$$

где (?): $\Delta \sigma_{\max}$ — максимальная амплитуда аномалии, $\Delta \sigma'_{\text{град}}$ — максимальный горизонтальный градиент.

$$m = zSd. \quad (2)$$

гранитов отмечаются локальными, однако очень четкими и интенсивными минимумами аномалий силы тяжести. Над мамско-оронскими гранитоидами наблюдается сравнительно спокойное гравитационное поле небольшого градиента.

По этим аномалиям нами подсчитаны глубины залегания центров тяжести аномальных масс (h) (?). Удвоенное значение полученных глубин залегания центров аномальных масс отождествлялось с нижней границей геологического тела (z). При определении масс (m) в формуле (2) табл. 1 площадная распространенность оценивалась по геологическим данным, или же, для отдельных штоков, по конфигурации гравитационной аномалии. Средняя плотность гранитоидов принята равной $d = 2,62$ г/см³. Так как величина плотности принимается постоянной по всему объему и не учитывается ее изменение с глубиной по экспоненте, значения масс в данном случае эквивалентны объемам.

Из приведенного выше описания достаточно очевиден ориентировочный характер полученных значений глубин и масс, характеризующих преимущественно относительный порядок истинных величин. В связи с этим данные табл. 1 могут рассматриваться показательными лишь в части установления существенной по величине диспропорции между соотношением площадей распространения в регионе различных формационных типов гранитоидов и их массой (объемом). Так, особенно необходимо отметить небольшую глубину распространения гранитоидов мигматит-плагиогранитовой формации, что характеризует их залегание в форме пластового тела относительно небольшой мощности. В связи с особенностями залегания, площадь развития гранитоидов мигматит-плагиогранитовой формации составляет примерно $1/3$ от общей площади, занятой в регионе гранитоидами, тогда как по массе они составляют примерно $1/10$. Сходные с нашими значения для глубин распространения этих гранитоидов, оцененные по нерпинскому блоку, приведены также в (?).

Противоположная закономерность устанавливается для батолитового тела тельмамских гранитов, которые характеризуются значительными

Средние и дисперсии содержаний щелочных металлов с учетом площади и массы гранитоидов в Витимо-Патомском нагорье

Элемент	\bar{x}_s	\bar{x}_m	$s_{x(s)}^2$	$s_{x(m)}^2$	$P_{H_0}: \alpha_s = \alpha_m$
K	3,59	3,70	0,0878	0,0902	$< 0,001$
Na	3,06	3,07	0,0638	0,0648	$\approx 1,0$
Rb	0,0121	0,0131	$445 \cdot 10^{-8}$	$448 \cdot 10^{-8}$	$< 0,001$
Li	0,0025	0,0024	$34 \cdot 10^{-8}$	$34 \cdot 10^{-8}$	$\approx 0,01$

Примечание. $\bar{x}_{(s, m)} = \sum_{i=1}^k c_i(s, m) \cdot \bar{x}_i$ $\left(\sum_{i=1}^k c_i(s, m) \right)^{-1}$; $s_{x(s, m)}^2 = \sum_{i=1}^k c_i^2(s, m) \cdot s_i^2 \times$
 $\times \left(\sum_{i=1}^k c_i(s, m) \right)^{-2}$ — средневзвешенные и их дисперсии ($^{\circ}$) с учетом площади (x_s , $s_{x(s)}^2$) или
 массы (\bar{x}_m , $s_{x(m)}^2$); k — число объединяемых частных средних значений; $c_i(s) = n_i \cdot S_i / s_i^2$; $c_i(m) =$
 $= n_i \cdot m_i / s_i^2$ — весовые коэффициенты частных средних; \bar{x}_i — частные средние; s_i^2 — дисперсии со-
 держаний в частных выборках; n_i — число проб в частной выборке. $P_{H_0}: \alpha_s = \alpha_m$ — вероятность
 гипотезы о равенстве средневзвешенных по площади и по массе, оцененная при помощи критерия
 Стьюдента $t = \frac{\bar{x}_s - \bar{x}_m}{\sqrt{\frac{s_{x(s)}^2 + s_{x(m)}^2}{n}}} \cdot \sqrt{n}$, где n — общее число проб. Некоторое отличие приводимых
 средневзвешенных по площади от ($^{\circ}$) обусловлено тем, что для получения сопоставимых значений
 \bar{x}_s и \bar{x}_m не учитывались данные [по двум штокам, которые не выражаются в имеющемся для
 региона масштабе гравиметровой съемки и уточнены площади. Кроме того, в данном случае
 частные средние взвты с весами, прямо пропорциональными числу проб и обратно пропорцио-
 нальными дисперсиям.

глубинами; в результате, занимая по площади около одной трети терри-
 тории, они по массе составляют более 50%.

Наблюдаемая диспропорция в соотношении площадей и масс приводит
 к различию величин региональных средних содержаний, полученных пу-
 тем взвешивания частных средних по площади и по массе.

Результаты проверки достоверности различия средних содержаний по-
 казывают (табл. 2), что различие оценок для калия и рубидия является
 значимым. Следовательно, можно констатировать, что в результате пере-
 счетов на массу гранитоиды региона в целом оказываются более калиевыми
 и рубидиевыми, чем при взвешивании частных средних по площади.

Полученные данные показывают, что переход к объемным соотноше-
 ниям действительно вносит определенные коррективы в результаты, по-
 лученные при расчетах, опирающихся на площадную распространенность
 гранитоидов в регионе.

По калию различие оценок составляет 3 отн.%. Более существенны
 различия оценок по рубидию: 8,3 отн.%. В целом, устанавливаемые из-
 менения следует оценить как небольшие. Не изменились практически
 оценки по натрию и литию.

Сопоставление величин тех частных средних, которые входят в сред-
 невзвешенные с наибольшим весом и при изменении весовых коэффици-
 ентов и поэтому оказывают наибольшее влияние на изменение средневзвешенных значений, показывает следующее (из табл. 3 следует, что для со-
 поставления должны быть выбраны частные средние по тельмамским и
 мамско-оронским гранитоидам).

Содержание натрия и лития в тельмамских и мамско-оронских грани-
 тоидах одинаково. По уровню содержания калия эти гранитоиды различа-
 ются в среднем в 1,2 раза, по рубидию — в 1,4 раза (²). Следовательно,
 смещение оценок наблюдается лишь для тех элементов, по содержанию

Влияние весовых коэффициентов при частных средних на изменение средневзвешенных значений (F)

Элемент	Константиновский шток	Джегдокарский шток	Брызгуновский шток	Синьский шток	Верхнежуинский шток	Тельгамские граниты	Мамско-оронские гранитоиды
K	-0,001	-7,5	-3,4	+8,1	-1,0	+19,5	-13,8
Rb	-0,001	-2,2	-2,4	+2,8	+1,1	+33,2	-24,2

Примечание.
$$F = \frac{c_i(m) \sum_{i=1}^k c_i(s) - c_i(s) \sum_{i=1}^k c_i(m)}{\sum_{i=1}^k c_i(s) \sum_{i=1}^k c_i(m)} \cdot \frac{\bar{x}_i}{\bar{x}_s} \cdot 100$$

— величина влияния весовых коэффициентов при частных средних на изменение значений средневзвешенной по площади (отн.%).

которых формационные типы гранитоидов различаются достаточно контрастно.

Различие по содержанию рубидия в 1,4 раза — величина одного порядка с максимальными колебаниями большинства редких элементов в однотипных петрографических разностях пород, которые оцениваются⁽⁸⁾ в пределах 2—3-кратного интервала. Это позволяет рассматривать установленные изменения средневзвешенных оценок в качестве ориентировочных значений и для других химических элементов. Полученные данные позволяют допустить, что для большинства элементов значения региональных средних по гранитоидным породам, рассчитанные с учетом их площадных соотношений, за счет замены площадных соотношений гранитоидов соотношением их масс, могут измениться в пределах не более $\pm 5-10$ отн.%, а для резко варьирующих элементов эти изменения могут оказаться более значительными, ориентировочно на уровне $\pm 20-30$ отн.%.

Следует заметить, что сравнительно умеренные изменения средних оценок, обусловленные собственно объемным фактором, могут оказаться более существенными за счет сопутствующих явлений, связанных с третьей координатой. Так, по всей вероятности, более существенным может оказаться эффект за счет моделей, на основе которых при расчете следует учитывать тенденции изменения химизма геологических тел по вертикали, а также эффект от повышения достоверности средних оценок за счет количественного анализа⁽⁹⁾ систематических тенденций в изменении химизма исследуемых объектов по площади.

Можно полагать, что суперпозиция эффектов в ряде случаев может оказаться достаточной, чтобы повлечь пересмотр представлений о химизме отдельных территорий в части их регионально-геохимической специфики на некоторые элементы.

Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья
Иркутск

Поступило
17 XII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. Э. Викман, В кн. Проблемы геохимии, М., 1965. ² А. Л. Александров, Геохимия, № 4 (1969). ³ Ф. В. Данилов, В. М. Таевский, В кн. Тр. Иркутск. политехнич. инст., Иркутск, № 42, 1968. ⁴ Д. С. Параснис, Принципы прикладной геофизики, М., 1965. ⁵ Л. И. Салон, Геология Байкальской горной области, 2, М., 1967. ⁶ В. И. Никулин, Сов. геол., № 7 (1967). ⁷ А. К. Митропольский, Техника статистических вычислений, М., 1961. ⁸ Л. В. Таусон, Геохимия редких элементов в гранитоидах, М., 1961. ⁹ Ж. Матерон, Основы прикладной геостатистики, М., 1968.