

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ НАКОПЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В ЛАТЕРИТНЫХ БОКСИТАХ

И. В. ВИТОВСКАЯ, В. М. НОВИКОВ
(I.V. VITOVSKAYA, V.M. NOVIKOV)

In the USSR Upper Triassic and Lower Cretaceous lateritic bauxites are known in Southern Urals, where they form the top zones of a full or shorter weathering profile of gabbroes, diabases and tuffs. Lateritic bauxites form remnants on elevated portions of the paleorelief among areal crusts and nest-like deposits in linear crusts of weathering.

A study of the geochemistry of weathering profiles of basic rocks by a comparison of computation results on the balance of matter and component mobility by methods of absolute mass and molecular volumes makes it possible to state that with a relatively inert behaviour of aluminium in this process, a possible mechanism for the increase of absolute aluminium contents in the zone of lateritic bauxites (the caprock excluded) and be assumed to be a double consolidation (change in volume) of rocks under weathering. Similar research for crust of weathering of other rocks indicated that the amount of consolidation in the formation of lateritic bauxites and ochres depends upon the composition of the original rocks and is 1.5 for nepheline syenites, 4 for micaceous-chloritic calcereous shales and 4-6 for ultrabasic rocks, for instance.

Решение вопроса о способе накопления алюминия в латеритных бокситах и поведении алюминия при формировании коры выветривания во многом зависит от выбора метода изучения. Так, количественная оценка баланса вещества в коре выветривания с помощью широко распространенного метода абсолютных масс, или, иначе, метода постоянства объема, приводит большинство исследователей к представлению о том, что при формировании латеритных бокситов происходит привнос алюминия извне.

Детальные минералогические исследования в сочетании с анализом баланса вещества при минеральных превращениях в латеритной коре выветривания позволяют предположить также и иной механизм накопления алюминия в латеритных бокситах, не требующий привлечения внешних источников этого компонента.

Объектом исследования явились латеритные бокситы верхнетриасового и нижнемелового возраста Южного Урала, развитые в верхних зонах коры выветривания пород основного состава; габбро, диабазов и туфов. Среди плащеобразных покровов кор выветривания площадного распространения латеритные бокситы образуют останцы на возвышенных участках палеорельефа, а среди узких зон линейного распространения, развитых по контактам пород и вдоль тектонических трещин — залежи гнездобразной формы (Егоров, Новиков, 1973).

В полном профиле выветривания перечисленных пород выделяются (снизу вверх) четыре минералого-геохимические зоны. В самой нижней зоне, хорошо

развитой на диабазовых и туфах, появляется частая сеть новообразованных гипергенных кварц-карбонатных прожилков, разбивающих породу на остроугольные блоки характерной пирамидальной формы. Минеральный состав пород близок составу исходной породы. Следующая зона представлена пластичными плотными глинистыми породами темно- и грязно-зеленого цвета, состоящими из «гидрохлорита» и монтмориллонита. Они сменяются зоной непластичных пестроокрашенных глин, основную массу которых составляют каолинит, гетит и гематит. Самая верхняя зона состоит из двух подзон: нижней глинистой, каолинит-гиббсит-охристой, по внешнему облику трудно отличимой от нижележащих пород, и верхней, представленной сухаристыми крепкими породами охристо-гиббситового состава, представляющими собой латеритные (структурные) бокситы. Во всех зонах сохраняются текстурно-структурные особенности исходных пород (фиг. 1).

Проследивая изменение минералов в профиле выветривания пород основного состава, можно наметить следующие ряды превращений: пироксен (амфибол, хлорит) → гидрохлорит типа смешаннослойного разбухающего хлорита → каолинит + гетит (гематит) → гиббсит + гетит (гематит); основной плагиоклаз → монтмориллонит → каолинит → гиббсит; титаномагнетит → гетит (гематит) + лейкоксен; пирит → гетит (гематит). Замещение минералов идет псевдоморфно с сохранением формы зерен исходных плагиоклаза и пироксена. В зависимости от условий выветривания отдельные члены в рядах превращения минералов могут выпадать вплоть до формирования гиббсита непосредственно по плагиоклазу или гетита по пироксену.

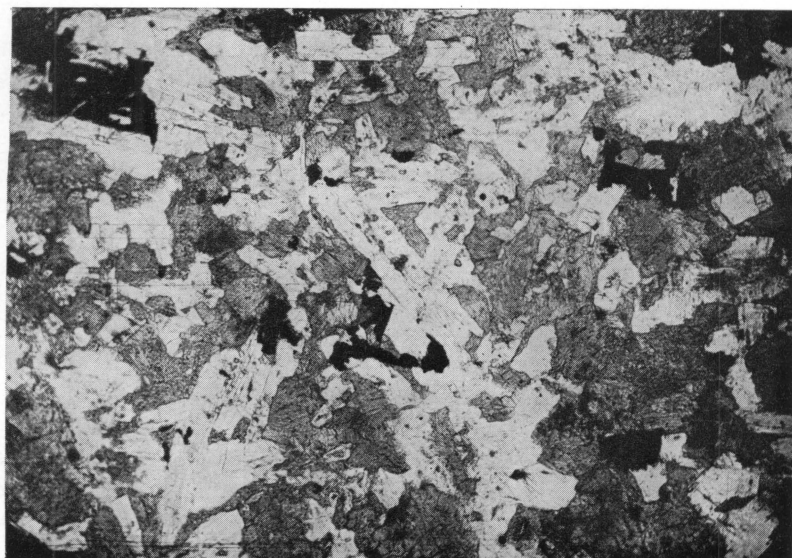
На геохимических профилях коры выветривания, построенных по методу постоянства объема пород при выветривании (фиг. 2), отчетливо видны постоянный, почти двухкратный рост абсолютных содержаний алюминия и значительные, но незакономерные колебания содержаний железа в структурных бокситах.

Отсюда следует, что при формировании зоны конечного гидролиза в коре выветривания основных пород железо ведет себя относительно подвижно, а алюминий — относительно инертен. Накопление алюминия в зоне латеритных бокситов можно объяснить двояко: либо привнесением алюминия в зону латеритов грунтовыми водами из размываемых горизонтов коры выветривания и кирассы, как и полагают многие исследователи, либо изменением объема пород в результате уплотнения продуктов метасоматического замещения при выветривании — метасоматической усадки.

Значительное уплотнение пород, связанное с привнесением и перемещением железа и алюминия под влиянием почвенных растворов, происходит в кирассе, залегающей выше латеритных бокситов. При этом породы кирассы теряют структурно-текстурные особенности исходных пород, пористость их резко падает, а объемный вес растет. Увеличение плотности здесь явно связано с инфильтрацией железа и алюминия, следы которой хорошо прослеживаются макроскопически и под микроскопом по наличию прожилков и гнезд этих минералов в породе. В латеритных же бокситах следы инфильтрации алюминия отсутствуют. Среди пород коры выветривания латеритные бокситы обладают максимальной пористостью и полностью наследуют не только трещины отдельности и структурно-текстурные особенности исходных пород, но и частично состав исходных минералов: псевдоморфозы по плагиоклазу выполняются минералом алюминия — гиббситом, а по железистому пироксену — минералом железа — решетчатым гетитом с незначительной примесью гиббсита.

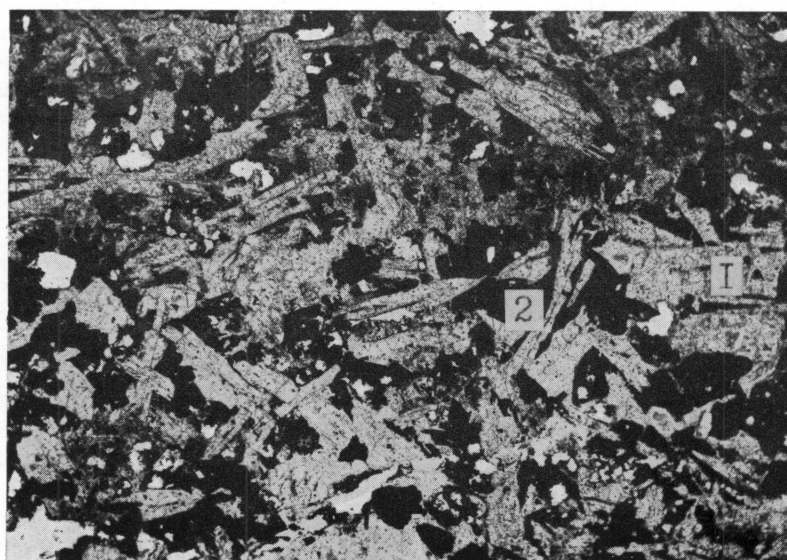
Псевдоморфный характер замещения при инертном поведении алюминия позволяет рассчитывать величины уплотнения или, иначе, изменения объемов пород при формировании латеритных бокситов, двумя независимыми методами: методом абсолютных масс и методом молекулярных объемов (Казицын, Рудник, 1968).

Последний метод используется для теоретических расчетов объемных эффектов реакций псевдоморфного замещения минералов в различных зонах коры выветривания (Витовская, 1973). Величина усадки или иначе уплотнения в данной зоне выветривания рассчитывается путем сравнения значений объемов массы вещества псевдоморфного минерала с инертным компонентом, вычисленных на основании реакции замещения теоретически и найденных для изученных пород экспериментально. Расчеты коэффициента уплотнения проводились по формуле $K = \frac{V_0^N a_2 V_1}{V_0^K a_1 V_2}$, где V_0^N и V_0^K — объемы формульных единиц,



а ▲

б ▼



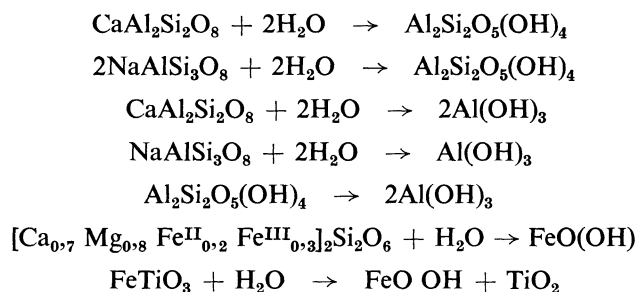
Фиг. 1. Сохранение структурно-текстурных особенностей исходного габбро в латеритных бокситах.

а) габбро; б) боксит : 1) псевдоморфозы и гиббсита по плагиоклазу;
2) реликты гетита по пироксену.

V_1 и V_2 — объемные проценты исходного и псевдоморфного минерала, а a_1 и a_2 — атомные коэффициенты алюминия в метасоматическом и исходном минералах. Величины уплотнения, полученные этим методом, как правило, совпадают со значениями, рассчитанными из отношений содержаний алюминия в единице объема исходной и выветрелой породы ($K_1 = \frac{\rho_{Al}^k}{\rho_{Al}^n}$). Ниже приведем пример подобных расчетов для латеритной коры выветривания крупнокристаллических габбро.

На основании данных химического анализа, определения объемного веса и пористости пород рассчитаны абсолютные содержания компонентов, изменения которых по профилю выветривания изображены на графике (фиг. 2).

Для расчетов использованы следующие реакции псевдоморфного замещения главных пороодообразующих минералов габбро минералами коры выветривания :



Структурные формулы минералов, участвующих в реакции, отражают их реальный химический состав. Реакции записаны исходя из условия инертного поведения алюминия при замещении плагиоклаза и железа — при замещении железистого пироксена и магнетита. Необходимые для расчетов значения объемов элементарных ячеек и формульных единиц этих же минералов заимствованы из Справочника физических констант (1969).

Результаты расчетов для каолинит-охристых и гиббсит-охристых продуктов выветривания изученного габбро приведены в таблицах 1, 2.

Как видно из таблицы 1, рассчитанные теоретически и определенные экспериментально объемы массы вещества каолинита близки. Незначительные расхождения связаны с выносом алюминия при формировании гидроксидомонтмориллонитовых пород зоны выщелачивания. Превышение объема массы гетита и гематита против теоретической свидетельствует о привносе железа в зону.

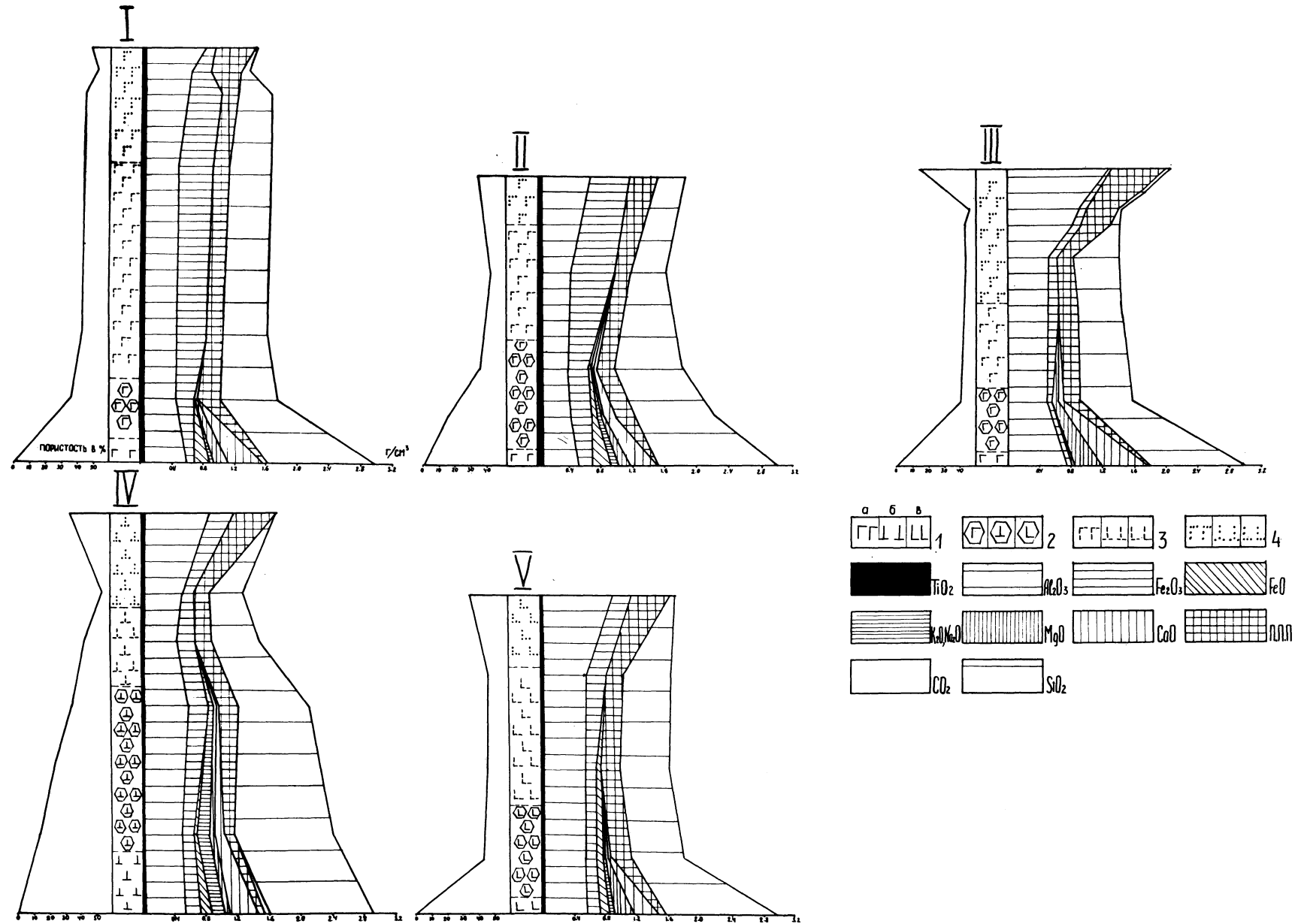
Таблица I. — Объемные соотношения при замещении габбро каолинит-охристыми продуктами выветривания (в объемных процентах).

	Замещаемые минералы				Валовый состав выветрелой породы	
	Плагиоклаз	Пироксен	Ильменит	Магнетит	Теоретический	Субмодальный
Исходная порода	47	47	1,8	1,2		
Продукты замещения						
Каолинит	43				43,0	40,0
Гетит		7,5	0,2		7,7	7,5
Гематит				0,7	0,7	3,8
Лейкоксен			0,2		0,2	0,6
Ильменит (о-таточный)			1,3		1,3	1,00
Объем массы вещества ΣV_m (в%)					52,9	52,9
Пористость (в%)					47,1	47,1

В целом проведенные расчеты в совокупности с изучением минерального состава и текстурно-структурных особенностей позволяют говорить о том, что объем пород каолинит-охристой зоны остается неизменным, алюминий ведет себя инертно, а около половины железа привнесено в зону при вертикальной его миграции. Образование пород каолинит-охристой зоны идет при заметном выносе кремнезема и возрастании пористости.

Формирование зоны латеритных бокситов происходит путем постепенного псевдоморфного замещения каолинита гиббситом по реакции, которая протекает с потерей воды каолинитом. В результате из 40 объемных % каолинита теоретически получается 25,7 объемных % гиббсита. Такие же значения могут быть получены при расчетах реакций непосредственного замещения плагиоклаза гиббситом (табл. 2).

I-Bauxite



Фиг. 2. Геохимические профили коры выветривания габбро (I, II, III) туфов (IV) и диабазов (V).
1 - исходные породы; 2 - гидрохлорит-монтмориллонитовые; 3 - каолинит-охристые; 4 - охристо-гипбситовые породы коры выветривания.

Таблица 2. — Объемные соотношения при замещении габбро габбро-гипсидит-охристыми продуктами выветривания (в объемных процентах).

	Замещаемые минералы				Валовый состав выветрелой породы	
	Плагиоклаз	Пироксен	Ильменит	Магнетит	Теоретический	Субмодальный
Исходная порода	47	47	1,8	1,2		
Продукты замещения						
Гипсидит	25,7				25,7	42,8
Гетит		7,5	1,4	0,2	9,1	2,7
Гематит				0,7	0,7	1,3
Лейкоксен			1,4		1,4	0,04
Прочие						0,3
Объем массы вещества ΣV_m (в%)					36,9	49,9
Пористость (в%)					63,1	51,1

В изученном образце латеритного боксита количество гипсидита больше теоретического примерно в 1,7 раза, что и показывает величину уплотнения пород. Такая же величина определяется по данным метода абсолютных масс, когда отношение абсолютных содержаний алюминия в бокситах и исходной породе также оказывается равным 1,7.

Поскольку при псевдоморфном замещении плагиоклаза гипсидитом возникает пористость порядка всего 40%, масса вещества псевдоморфоз обладает достаточной прочностью и не должна испытывать уплотнения. Следовательно, увеличение содержаний алюминия в единице объема латеритных бокситов может быть связано с сокращением объема других псевдоморфоз, а именно псевдоморфоз гетита по пироксену. Действительно, при замещении пироксена (100%) должно теоретически образоваться всего 16 объемных процентов гетита и возникнуть весьма значительная пористость в 84%. Даже если бы все железо оставалось в породе, прочность такого гетитового каркаса явно недостаточна, чтобы он мог сохраняться, не уплотняясь. Между тем количество гидроокислов железа в единице объема латеритного боксита вдвое меньше исходного, то есть даже без учета уплотнения определяется явный его вынос. На этом основании можно полагать, что уплотнение латеритных бокситов, образовавшихся по габбро, связано с сокращением объема пор, образующихся при псевдоморфном замещении зерен пироксена гетитом.

Итак, при формировании латеритных бокситов за счет пород каолинит-охристой зоны алюминий ведет себя инертно, выносятся половина от исходного содержания железа и почти весь кремнезем каолинитовой зоны. Приведенные данные позволяют считать, что в изученной коре выветривания габбро объем продуктов выветривания остается неизменным вплоть до зоны конечного гидролиза, где при формировании латеритных бокситов происходит примерно двукратное их уплотнение. Величина уплотнения в нижних частях зоны, где достигается максимальная для коры выветривания габбро пористость и минимальный объемный вес, составляет 1,7. В верхних горизонтах латеритных бокситов пористость уменьшается, а объемный вес растет и величина уплотнения становится равной 2,0. Алюминий ведет себя инертно по всему профилю выветривания габбро, исключая зону выщелачивания, при образовании которой выносятся около 30% его исходного содержания в единице объема. Железо же сохраняет относительную подвижность при формировании всех зон коры выветривания.

Аналогичные результаты получены при изучении латеритных бокситов, развитых в коре выветривания основных пород других районов Южного Урала, где коэффициент уплотнения всюду равен 1,7. Такие же величины рассчитываются по данным ряда публикаций для латеритных бокситов коры выветривания основных пород Сибири и Гвинеи. Несколько больший коэффициент уплотнения — 1,9 — получен при расчетах с использованием данных Г. В. Писемского (1968) и Б. М. Михайлова (1969) для латеритных бокситов, сформиро-

рованных в коре выветривания нефелиновых сиенитов и филлитовых сланцев. Наибольшее уплотнение, равное 4,5, определяется для латеритных бокситов из коры выветривания слюдисто-хлоритовых известковистых сланцев Гвинеи, что, по-видимому, обусловлено энергичным выносом карбонатной составляющей. Таким образом, величина уплотнения обнаруживает зависимость от минерального и химического состава и структурно-текстурных особенностей выветривающихся пород.

Предложенное объяснение механизма накопления алюминия позволяет уточнить существующие представления о формировании месторождений латеритных бокситов.

ЛИТЕРАТУРА

- Витовская И. В. Баланс вещества и объемные соотношения при псевдоморфном замещении хлорита нонтронитом. ДАН СССР, т. 209, № 3, 1973.
- Егоров В. П., Новиков В. М. Латеритные бокситы Мугоджар и Орского Зауралья. Кора выветривания № 12. Изд-во «Наука», 1973.
- Казицин Ю. В., Рудник В. А. Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. Изд-во «Недра», М., 1968.
- Михайлов Б. М. Геология и полезные ископаемые западных районов Либрийского щита. Изд-во «Недра», М., 1969.
- Писемский Г. В. Геохимические особенности коры выветривания Гвинейской республики. Кора выветривания № 10. Изд-во «Наука», 1968.
- Справочник физических констант горных пород. Изд-во «Мир», 1969.

*Institut de Géologie des Gisements de Minerais
Académie des Sciences de l'URSS, Staromonetny per. 35, Moscou (U.R.S.S.)*