

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРОЦЕССОВ ГРАНИТИЗАЦИИ (ИЛЬМЕНСКИЕ ГОРЫ)

А.А. Краснобаев, Е.В. Медведева

Петрологическая основа процессов гранитизации в Ильменских горах детально исследована и подробно описана [Левин, Панков, 1963; Левин, 1974; Панков, 1971; Чесноков, 1971]. Недавно работы по гранитизации были дополнены расчетами баланса вещества, выделением этапов и стадий формирования гранитоидов, детальными петрографическими наблюдениями [Пермяков, 2000].

Важнейшие аспекты преобразования вещества при гранитизации наиболее четко были определены В.Я. Левиным [Левин, 1974]. В дальнейшем они выбраны нами в качестве отправных, а само понятие «гранитизация» используется в широком смысле слова, представляя частный случай проявления процесса «гранитообразования» [Геологический словарь, 1973]. Кратко они заключаются в следующем. Гранитизация в Ильменских горах включает два основных этапа. Первый соответствует плагитогранитизации (ПГ), второй, последующий – нормальной гранитизации (НГ). Относительно амфиболитов, широко распространенных в Иль-

менских горах и обычно выполняющих роль субстрата, процессы ПГ сопровождаются привнесением Si и Na, выносом Fe, Ca и Mg, а при НГ активизируется привнос K. К породам, образующим ряды гранитизации, помимо амфиболитов, отнесены гнейсы, мигматиты и граниты. Между ними существуют и постепенные переходы, и сохранность реликтов предшествующих пород среди последующих. Обычны случаи чередования и послыного замещения между амфиболитами и гнейсами, развитие в амфиболитах и гнейсах кварц-полевошпатовых обособлений, их постепенное объединение с образованием лейкосомы в мигматитах и гранитоидных масс различного объема – от жильных тел до крупных массивов (Чашковский, Кисегачский). При этом калишпатизированные разности плагитогранитов практически не отличаются от нормальных гранитов. Возрастные различия между процессами ПГ и НГ подтверждены изотопными исследованиями: для раннего этапа возраст составляет 435 ± 44 млн лет при $I_{Sr} = 0,7033 \pm 3$, для заключительного – 261 ± 28 млн лет при

$I_{Sr} = 0,7064 \pm 5$ [Краснобаев и др., 1977].

Полученные методом ICP-MS новые аналитические данные для Ильменских гор стимулировали возобновление интереса к процессам гранитизации. На основании распределения редких и редкоземельных элементов, мы рассмотрим лишь основные разновидности пород, образующих упомянутые ряды ПГ и НГ. Плагиигранитизацию представляют амфиболиты (пр. 342; Блюмовская копь), плагииогнейсы (пр. 341, 20 м южнее копи 51), плагииогмиты (пр. 354) и плагииграниты (пр. 355) Чашковского массива. Для иллюстрации НГ вдоль тракта Челябинск–Миасс, в районе 78-82 км,

из коренных выходов отобраны амфиболиты (пр. 353), гранитогнейсы (пр. 352), мигматиты (пр. 346 – послойный и пр. 347 – теневой). Заключительный этап НГ представляет граниты (пр. 349; мелкозернистый, гомогенный; Кисегачский массив). Для сравнения отобрана проба лейкократового гранита (пр. 348), образующего жильные тела в мелкозернистых гранитах (пр. 349) и соответствующего представлениям о «молодых» (II этапа) гранитоидах.

Составы пород, относящиеся к обоим этапам гранитизации, приведены в таблице и отражены на рис. 1-2. По распределению петрогенных элементов и щелочей ряды ПГ и НГ су-

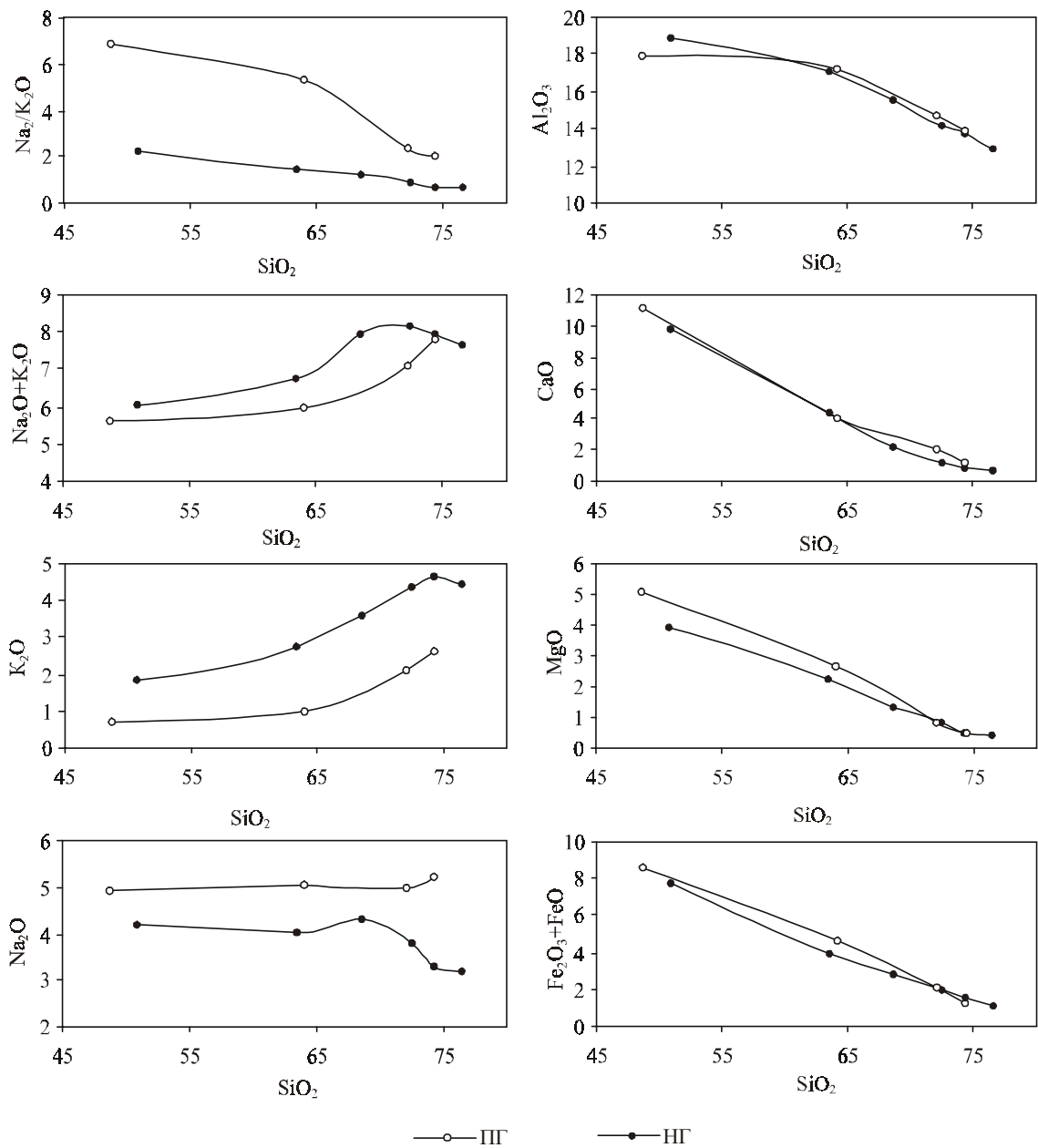


Рис. 1. Распределение петрогенных элементов в продуктах плагиигранитизации (ПГ) и нормальной гранитизации (НГ).

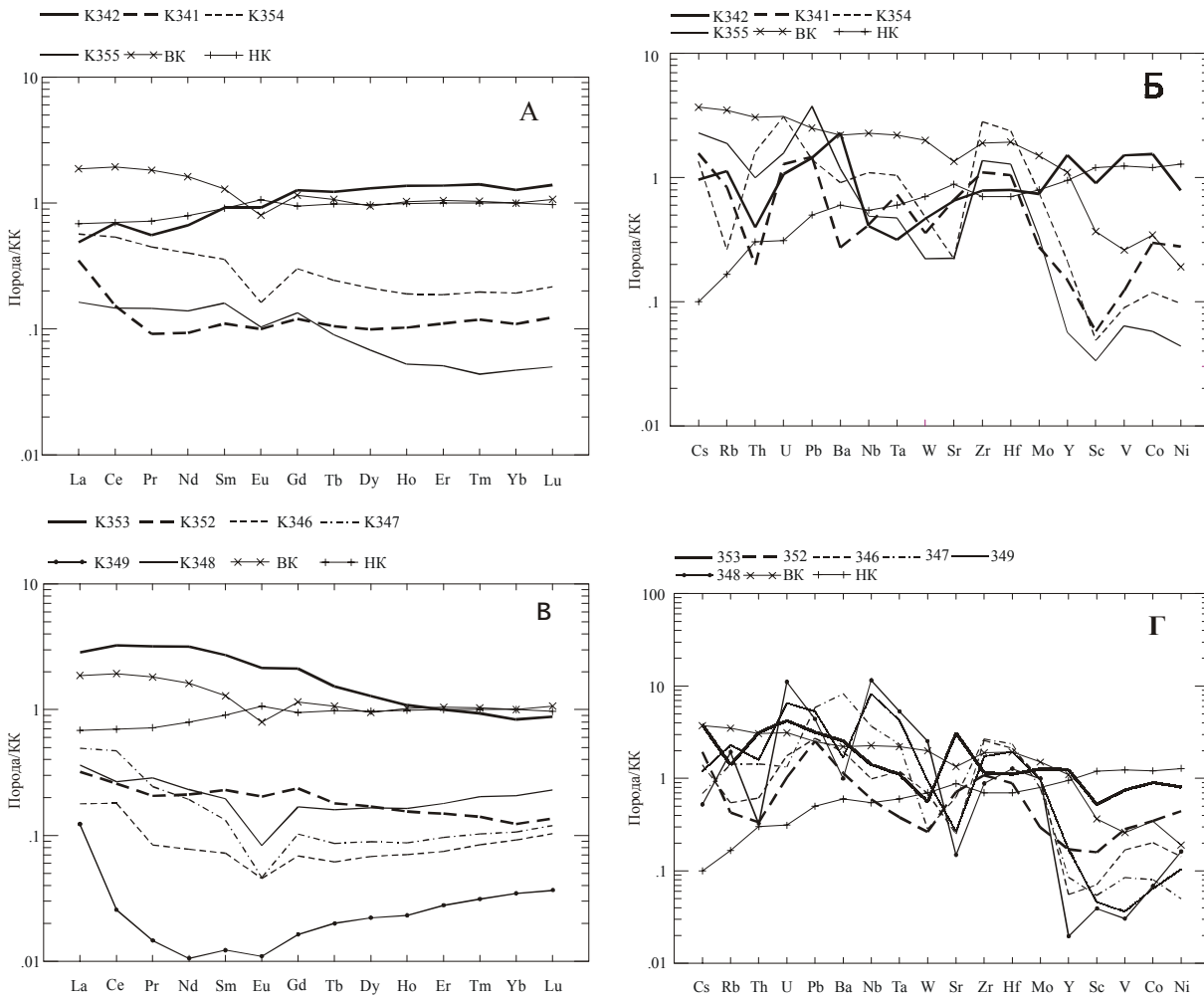


Рис. 2. Распределение редкоземельных (а, в) и редких (б, г) элементов в продуктах плагиогранитизации (а, б) и нормальной гранитизации (в, г).

Кора континентальная в целом – КК, нижняя – НК, верхняя – ВК (по [Тейлор, Мак-Леннон, 1988]).

щественно различаются, сближаясь лишь на заключительной стадии при образовании гранитоидов. Для обеих стадий характерно прогрессивное возрастание Si, снижение Fe, Mg, Ca, отчасти Ti и Al. Несколько сложнее ситуация со щелочами: в случае с ПГ их сумма возрастает с 5,64 % при снижении отношения Na_2O/K_2O с 6,83 до 2,00, тогда как при НГ возрастание этой суммы с 6,04 % до 7,64 % сопровождается снижением отношения лишь с 2,26 до 0,72. Эти данные отчетливо подчеркивают натриевую и калиево-натриевую специфику ПГ и НГ. Проявляется и разубоживающее влияние кремнезема, возрастающее количество которого служит своеобразным компенсатором потерь других элементов.

Разнонаправленные тенденции миграции проявляют редкоземельные и редкие элементы (РЗЭ, РЭ). Амфиболиты, представляющие стартовые породы и для ПГ, и для НГ, по содержанию и распределению лантаноидов наиболее близки коровым образованиям, причем пр. 342 – нижнекоровым, а пр. 353 – верхнекоровым, хотя и превышая их в области легких-средних земель. Весьма показательным, что амфиболиты, относительно последующих членов рядов ПГ и НГ, обогащены не только РЗЭ, но также Sr, Mo, Y, Sc, V, Co и Ni, что также может быть связано с увеличением их кислотности. Наиболее значимое обеднение амфиболитов примесями происходит на ранних стадиях гранитизации – при образовании плагиогнейсов и гранито-

ГЕОХИМИЯ

	Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов									
	в продуктах гранитизации Ильменских гор									
Sample	341	342	354	355	353	352	346	347	348	349
SiO ₂	48,69	64,05	72,10	74,31	50,82	63,46	68,52	72,43	76,44	74,24
TiO ₂	1,84	0,24	0,32	0,21	1,18	0,62	0,50	0,31	0,07	0,15
Al ₂ O ₃	17,93	17,25	14,72	13,90	18,91	17,08	15,54	14,12	12,97	13,71
Fe ₂ O ₃	2,51	2,23	0,71	0,55	5,39	1,53	1,61	1,25	0,88	1,23
FeO	6,10	2,45	1,43	0,76	0,16	2,45	1,22	0,72	0,21	0,38
MnO	0,13	0,10	0,04	0,02	3,90	0,11	0,04	0,08	0,01	0,02
MgO	5,10	2,70	0,85	0,52	9,73	2,28	1,36	0,83	0,43	0,50
CuO	11,23	4,05	2,10	1,19	4,19	4,36	2,24	1,26	0,66	0,78
Na ₂ O	4,92	5,03	5,00	5,22	1,85	4,04	4,32	3,83	3,21	3,30
K ₂ O	0,72	0,96	2,12	2,61	0,05	2,73	3,61	4,35	4,43	4,63
P ₂ O ₅	0,13	0,05	0,10	0,06	0,73	0,14	0,11	0,10	0,11	0,25
п.п.п.	0,80	0,66	0,16	0,31	99,44	0,77	0,62	0,58	0,19	0,54
Сумма	100,10	99,77	99,65	99,66	99,44	99,57	99,69	99,86	99,61	99,73
Cs	1,57	0,96	1,35	2,28	3,86	1,94	1,41	0,69	0,52	1,21
Rb	26,69	36,08	8,37	60,40	45,15	13,70	17,50	45,47	61,27	74,08
Th	0,69	1,39	5,65	3,49	11,02	1,18	2,15	5,02	1,12	5,58
U	1,15	0,96	2,79	1,41	3,83	0,92	1,59	1,20	9,98	5,92
Pb	11,75	11,53	11,17	30,06	25,46	20,43	21,76	47,00	35,08	42,74
Ba	68,25	574,15	227,72	293,90	639,04	285,61	488,36	2064,41	248,64	423,32
Nb	4,59	4,49	12,08	5,38	15,63	6,54	10,87	40,42	126,80	91,13
Ta	0,73	0,32	1,04	0,47	1,11	0,38	1,20	2,35	5,32	4,29
W	0,36	0,47	0,48	0,22	0,56	0,26	0,69	0,28	2,53	0,95
Sr	172,31	169,29	57,36	58,27	812,35	186,23	65,40	163,24	38,65	69,99
Zr	109,98	78,36	281,69	137,12	115,86	108,36	256,97	266,49	88,26	173,58
Hf	3,13	2,39	7,14	3,85	3,36	2,66	6,34	7,08	3,82	5,89
Mo	0,28	0,74	0,76	0,33	1,28	0,30	0,99	0,78	0,99	0,98
Y	3,00	30,35	4,23	1,13	25,11	3,42	1,11	1,71	0,39	3,44
Sc	1,73	26,94	1,47	1,01	15,80	4,78	2,13	1,63	1,18	1,38
V	28,30	348,06	20,54	14,68	173,62	64,80	38,75	19,42	6,99	8,43
Co	8,64	44,85	3,44	1,67	26,28	10,07	5,85	2,33	1,98	1,88
Ni	29,22	82,99	10,11	4,60	85,40	46,43	15,00	5,24	16,93	11,03
La	5,61	7,80	9,07	2,61	45,68	5,12	2,86	7,91	1,96	5,81
Ce	5,05	22,85	17,72	3,43	107,40	8,51	5,96	15,56	0,85	8,84
Pr	0,36	2,17	1,75	0,57	12,44	0,81	0,33	0,95	0,06	1,12
Nd	1,49	10,64	6,42	2,22	50,68	3,39	1,24	3,09	0,17	3,71
Sm	0,39	3,21	1,25	0,56	9,50	0,81	0,25	0,46	0,04	0,69
Eu	0,11	1,01	0,18	0,11	2,37	0,22	0,05	0,05	0,01	0,09
Gd	0,40	4,16	0,99	0,44	6,96	0,78	0,23	0,34	0,05	0,56
Tb	0,06	0,74	0,15	0,05	0,92	0,11	0,04	0,05	0,01	0,10
Dy	0,37	4,83	0,78	0,25	4,74	0,63	0,25	0,33	0,08	0,61
Ho	0,08	1,07	0,15	0,14	0,85	0,12	0,06	0,07	0,02	0,13
Er	0,24	3,02	0,41	0,11	2,20	0,33	0,16	0,21	0,06	0,40
Tm	0,04	0,45	0,06	0,01	0,30	0,05	0,03	0,03	0,01	0,07
Yb	0,24	2,80	0,42	0,10	1,83	0,27	0,20	0,23	0,08	0,46
Lu	0,04	0,42	0,07	0,02	0,26	0,04	0,03	0,04	0,01	0,07

нейсов, причем без существенных изменений состава примесей. Незначительное повышение La и Ce, U и Ta, Zr и Hf в плагиогнейсах (пр. 341) относительно амфиболитов (пр. 342) не меняет общей картины. Мигматизация гнейсов сопровождается лишь незначительным перераспределением РЗЭ, но при этом появляет-

ся отчетливая отрицательная европиевая аномалия. Причина этого может быть связана с некоторым отставанием в меланосоме плагиоклаза и амфибола, частичным распределением плагиоклаза и образованием лейкократовых обособлений гранитного состава (очков, прожилков). «Мигматитовый» характер распределения РЗЭ

практически сохраняются вплоть до гранитоидов, у которых содержания Pb, Nb, Ta, Zr и Hf несколько увеличиваются, превышая уровень, отмеченный и для амфиболитов, и установленный для верхнекоровых образований (рис. 2г). Источником подобных инъекций могут быть метасоматические растворы, облегчающие трансформацию вещества при гранитизации и изменяющие состав исходных пород. В целом гранитоиды обоих рядов гранитизации близки по составу и РЗЭ (при некотором дефиците ТРЗЭ в пр. 355), и РЭ, хотя в случае с НГ их содержание ближе к верхнекоровым, а для ПГ – к характеризующим земную кору в целом.

Несколько обособленно проявляются свойства молодого гранита (пр. 348). Он выделяется резко дифференцированным распределением редких земель, самыми низкими содержаниями Cs, Th, Ba, Sr, Zr, Y, Sc, V и самыми высокими – U, Nb, Ta, W. Это вычлняет его из пород обоих рядов и предполагает иное происхождение, не связанное с гранитизацией. Геологическая позиция таких молодых гранитов согласуется с подобным заключением.

По содержанию многих элементов продукты гранитизации оказались значительно беднее корового уровня, причем концентрации некоторых из них (Sr, Y, Sc, V, Co, Ni) даже ниже, чем в океанической коре или примитивной мантии [Тейлор, Мак-Леннон, 1988]. Этот эффект может быть связан лишь с локальными (региональными) процессами миграции вещества, затрагивающими относительно небольшие объемы пород. Естественно, что такие породы, а в данном случае продукты ПГ и НГ Ильменских гор, не могут служить индикаторами для решения вопросов о их коровой специфике. Своеобразным антиподом для них являются амфиболиты, сопоставимые с коровыми образованиями. Более того, сходство, например, амфиболитов пр. 342 с нижнекоровыми образованиями по распределению РЗЭ, Th, Zr, Hf, Mo, Y, Sc, V, Co и по изотопным параметрам позволяет говорить о их соответствии ортопородам, субстратом для которых служили магматиты (базальтоиды?), исходно представлявшие фрагменты океанической литосферы Доуральского океана. Подобное

предположение было сделано ранее [Краснобаев и др., 1980, 1988], чему предшествовало заключение [Баженов и др., 1979] о сходстве амфиболитов ильменогорской свиты с океаническими или островодужными толеитами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 04-05-96068-Урал) и программы ОНЗ №7 и НШ-85.2003.5

Список литературы

- Баженов А.Г., Иванов Б.Н., Баженова Л.Ф., Кутепова Л.А.* Особенности химизма амфиболитов ильменогорского комплекса // *Метаморфические породы в офиолитовых комплексах Урала.* Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. С. 90–101.
- Геологический словарь. Т. 1. М.: Недра, 1973. 485 с.
- Краснобаев А.А., Ронкин Ю.Л., Степанов А.И., Лепихина О.П.* Проблемы радиологического датирования полиметаморфических комплексов Восточного склона Урала // *Геохронология Восточной Сибири и Дальнего Востока.* М.: Наука, 1980. С. 154-165
- Краснобаев А.А., Давыдов В.А., Чередниченко Н.В.* Цирконовая геохронология ильменогорской свиты и некоторые геологические следствия // *Ежегодник-1997 ИГГ.* Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 157-160.
- Левин В.Я., Панков Ю.Д.* Вопросы мигматизации и гранитизации пород восточной и южной части Ильменских гор // *Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала.* Т. 3. Свердловск: УФАН, 1963. С. 203-216.
- Левин В.Я.* Щелочная провинция Ильменских–Вишневых гор. М.: Наука, 1974. 221 с.
- Панков Ю.Д.* Ильменогорский метаморфический комплекс // *Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород.* Т. 1. Свердловск: УФАН СССР, 1971. С. 61-130.
- Пермяков Б.Н.* Чашковско-Еланчиковский мигматит-гнейсогранитный массив (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, Ильменский гос. Заповедник, 2000. 185 с.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннон С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Чесноков С.В.* Проблема ильменогорских гнейсов // *Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород.* Т. 1. Свердловск: УФАН СССР, 1971. С. 33-61.