

УДК 550.41.01

РОЛЬ ПРОЦЕССОВ ГРАНИТИЗАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ КИСЛОРОДНОЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

© 2002 г. Академик Ф. А. Летников, Н. В. Сизых

Поступило 07.05.2002 г.

Одной из загадок развития планеты Земля является природа кислорода в ее атмосфере. Детальный анализ развития биосферы Земли, который провел П. Клауд [1], со всей убедительностью показал, что биологические процессы в водной среде начались ~3.8(?) млрд. лет назад, когда кислород в атмосфере отсутствовал. Такая ситуация просуществовала более 1.0 млрд. лет, когда на рубеже 2.8 млрд. лет в атмосфере содержание O_2 составило <1% от современного, и только ~2.0 млрд. лет эта величина достигла ~1% и с этого момента начала неуклонно повышаться. Около 1.4 млрд. лет получили распространение первые красноцветные толщи, когда содержание O_2 в атмосфере стало >1% и лишь спустя почти 730 млн. лет достигло ~7%. В фанерозое темп накопления кислорода в атмосфере стремительно нарастал. В кембрии (~550 млн. лет) в водной среде появляются многоклеточные организмы с наружным скелетом и роющие животные, а содержание кислорода в атмосфере достигает ~10% от современного, т.е. не превышает 2.1%. В такой ситуации не было наземных растений, жизнь зарождалась только в водной среде. Рубеж около 400 млн. лет знаменовался необъяснимо стремительным ростом содержания O_2 в атмосфере, отвечающего современному, что привело к появлению первых наземных растений, которые начали выделять биогенный кислород. Иными словами, если стать на точку зрения о биогенной природе кислорода в атмосфере Земли, то мы сталкиваемся с непреодолимым парадоксом, а именно: атмосфера более чем на 1/5 стала кислородной до появления наземных растений, когда за 150 млн. лет содержание O_2 в атмосфере Земли в общепланетарном масштабе увеличилось в 10 раз (!). Подобное обстоятельство заставляет рассмотреть проблему альтернативных биогенных источников кислорода в формировании кислородной атмосферы Земли.

Исходя из анализа имевшихся в нашем распоряжении банков данных газовых хроматографи-

ческих анализов горных пород и петролого-геохимических моделей формирования оболочек Земли, включая атмосферу и гидросферу, мы высказали предположение о взаимосвязи процессов гранитизации базитовой протокоры с формированием ее кислородной атмосферы [2].

Суть этой концепции заключалась в том, что гранитизация, сформировавшая гранито-гнейсовый слой Земли, является прежде всего метасоматическим процессом, когда под воздействием глубинных гранитизирующих растворов происходило метасоматическое замещение породообразующих минералов меланократовых пород более легкими минералами с большим молекулярным объемом – кварцем, кислым плагиоклазом и калиевым полевым шпатом [3]. При замещении “объема на объем” количество кислорода во вновь образованных минералах должно быть меньшим по сравнению с исходными.

Для проверки данного предположения нами проведены необходимые расчеты. Прежде всего, на основании литературных данных мы рассчитали средние составы перидотитов, архейских гранулитов (образовавшиеся при метаморфизме преимущественно толеитовых базальтов), габбро, диоритов, гранодиоритов и гранитов, полагая, что три последние породы являются результатом изохимического плавления изначально гранитизированных пород, в основном гнейсов различного состава. На основании обобщенных силикатных анализов по атомно-объемному методу [4] рассчитаны поэлементные составы этих пород в расчете на 10000 \AA^3 .

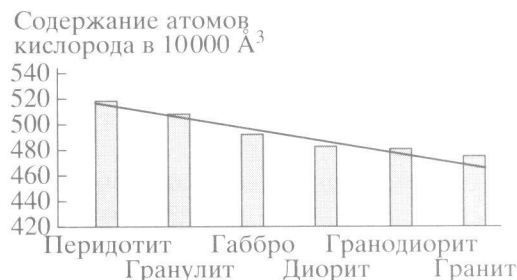
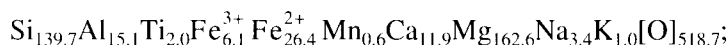
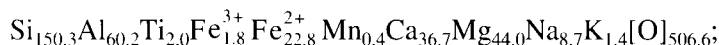


Рис. 1. Содержание связанного кислорода в 10000 \AA^3 горных пород.

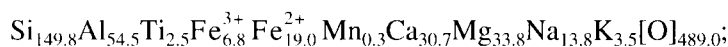
Средний перидотит (23 анализа)



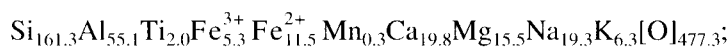
гранулит



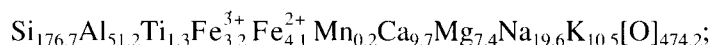
среднее габбро



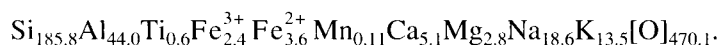
средний диорит (872 ан.)



средний гранодиорит (31 регион)



средний гранит (2485 ан.)



Судя по расчетам, содержание атомов кислорода в единице объема (10000 Å³) от перидотита до гранита монотонно уменьшается (рис. 1). Если учесть преимущественную распространенность в древней протокоре пород базальтоидного ряда: габбро, базальтов и их метаморфизованных аналогов гранулитов, то наиболее объективным будет глобальное сопоставление именно по этим разностям меланократового ряда. Тем не менее, если гранитизация накладывается на перидотиты и процесс сопровождается привнесением Si, Al, K, Na, вероятность образования по перидотиту породы, близкой по составу к габбро и диориту, достаточно высока.

Из данных, приведенных в табл. 1, очевидно: 1) образование диоритов по габбро, гранулитам и перидотитам будет сопровождаться переходом в свободное состояние от 12 до 41 атомов кислорода на 10000 Å³ или соответственно от 1993 до 6808 молей кислорода в расчете на 1 м³; 2) поскольку наиболее распространенными в протокоре были породы базальтоидного ряда, то в значительных масштабах шло образование по ним пород

ряда диорит–гранодиорит–гранит, с монотонно возрастающим количеством переходящего в свободное состояние кислорода (табл. 1).

В равной мере это относится и к замещению гранитом диоритов и гранодиоритов, хотя в этом случае количество выделяющегося кислорода будет значительно меньше. Чем больше разница по химическому составу между исходными и конечными продуктами гранитизации, тем большее количество кислорода перейдет в свободное состояние. Судьба выделившегося в свободное состояние кислорода может быть различной: образование H₂O, CO₂, CO или же миграция O₂ в атмосферу, или частичное растворение в воде.

На основании обобщения данных газового хроматографического анализа флюидных компонентов, заключенных в горных породах (H₂O, CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂), был сделан вывод о существенно восстановительном характере глубинных флюидных систем, под воздействием которых протекали все эндогенные процессы формирования и преобразования горных пород в архее

Таблица 1. Изменение содержания кислорода в породах при гранитизации

Исходные породы	Вновь образованные породы					
	диорит		гранодиорит		гранит	
	10000 Å ³ (атомов)	1м ³ (молей)	10000 Å ³ (атомов)	1м ³ (молей)	10000 Å ³ (атомов)	1м ³ (молей)
Перидотит	41	6808	44	7306	48	7970
Гранулит	29	4815	32	5313	36	5978
Габбро	12	1993	15	2491	19	3155
Диорит	–	–	3	498	7	1162

Примечание. N_A = 6.0221367 · 10²³ мол⁻¹; Å = 10⁻¹⁰ м; м³ = 10³⁰ Å³; 1 мол = 6.0221367 · 10²³ атомов. N_A – постоянная Авогадро.

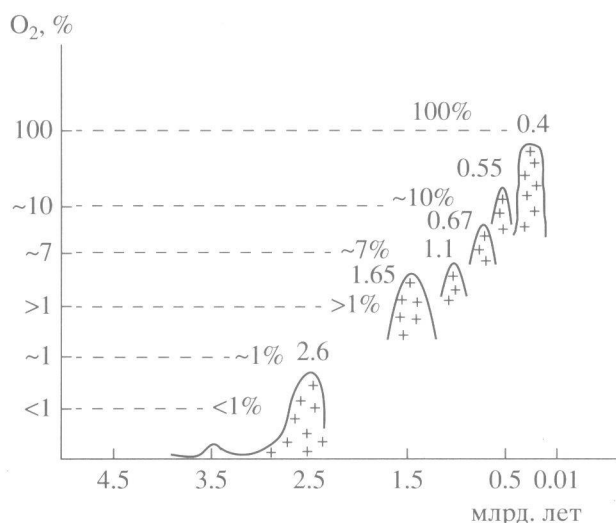


Рис. 2. Изменение содержания свободного кислорода в атмосфере, % от современного уровня [1], и мегациклы гранитизации и гранитообразования [6–8].

[5]. Этому этапу отвечает существование бескислородной восстановленной атмосферы. Нами установлено [5], что на рубеже архея и протерозоя завершилась глобальная инверсия флюидного режима эндогенных процессов с восстановительного на окислительный. Именно этому возрастному рубежу (2.8–2.5 млрд. лет) отвечает появление значимых (<0.2%) содержаний кислорода в атмосфере Земли. И как раз этому времени отвечает общепланетарный рост континентальной кислой по составу земной коры. Это время широко проявленных длительных по времени гранитообразующих процессов, где гранитизации принадлежит решающая роль [6]. Объектом гранитизации явилась исходная базит-гипербазитовая протокора Земли. Намечается связь между степенью проявления метасоматической гранитизации (дебазификации), инверсией флюидного режима эндогенных процессов и появлением в атмосфере Земли значимых количеств кислорода. В еще большей мере эта взаимосвязь проявления процессов гранитизации, и обусловленным ее ростом гранито-гнейсовых куполов, и последующего выплавления гранитоидных магм с ростом содержания O_2 в атмосфере Земли становится очевидной из рис. 2, в основу которого положены эндогенные мегациклы [7], в которых интенсивно проявились процессы гранитизации [6, 8]. Так, появление значимых количеств O_2 в атмосфере (~1% O_2) произошло после глобальной гранитизации и гранитообразования ~2.6 млрд. лет (± 200 млн. лет в ту и другую сторону). Почти 1 млрд. лет от 2.6 до 1.65 млрд. лет на Земле интенсивных гранитообразующих процессов не было, и содержание O_2

в атмосфере возросло крайне незначительно. Но после двух мощных гранитообразующих циклов с пиками в 1.65 и 1.1 млрд. лет содержание O_2 в атмосфере достигло 7%, в то время как в биосфере появляются только первые многоклеточные живые организмы, которые не могли генерировать столь значительных количеств O_2 . Два последующих цикла гранитообразования в 0.67 и 0.55 млрд лет соответствуют росту O_2 в атмосфере до 10%, хотя роль наземных растений еще мала. Мощнейшая палеозойская общепланетарная эпоха роста гранито-гнейсовых куполов и выплавления гранитов с пиком в 0.4 млрд. лет [8] отвечает 100% содержанию O_2 от современного и одновременно расширению ареалов наземных растений [1].

Таким образом, процесс метасоматической гранитизации базит-гипербазитовой протокоры Земли, адекватный по сути процессу полимеризации силикатов, сопровождался выделением кислорода, который в составе флюидов в режиме дегазации поступал в атмосферу Земли. Циклическое проявление процессов гранитизации в общепланетарном масштабе обусловило не только глобальное пульсационное поступление кислорода в атмосферу Земли, но на фоне общепланетарной дегазации водорода [5] благоприятствовало и образованию паров H_2O . Появление водных бассейнов, а в самые поздние геологические эпохи наземной растительности, обусловило нарастающее поступление в атмосферу Земли и биогенного кислорода.

Исходя из этой модели следует полагать, что атмосферы кислородного типа могут возникать лишь на планетах земного типа с длительным общепланетарным проявлением процессов гранитизации по породам базит-гипербазитового состава.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 02–05–64065) и программы Поддержки научных школ (грант 00–15–98573).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клауд П. // Sci. Amer., 1983. № 11. С. 102–113.
2. Летников Ф.А. В сб.: Науки о Земле на пороге XXI века. М.: Науч. мир, 1997. С. 105.
3. Коржинский Д.С. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952. № 2. С. 56–59.
4. Рудник В.А. Атомно-объемный метод в применении к метасоматическому минералообразованию. Л.: Недра, 1966. 118 с.
5. Летников Ф.А. // ДАН. 1982. Т. 262. № 6. С. 1438–1440.
6. Рудник В.А. Гранитообразование в докембрии. Л.: Недра, 1975. 415 с.
7. Пушкарев Ю.Д. Мегациклы в эволюции системы кора–мантия. Л.: Наука, 1990. 217 с.
8. Летников Ф.А. Гранитоиды глыбовых областей. Новосибирск: Наука, 1975. 218 с.