

## О ТИПАХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ВЕНЕРЕ

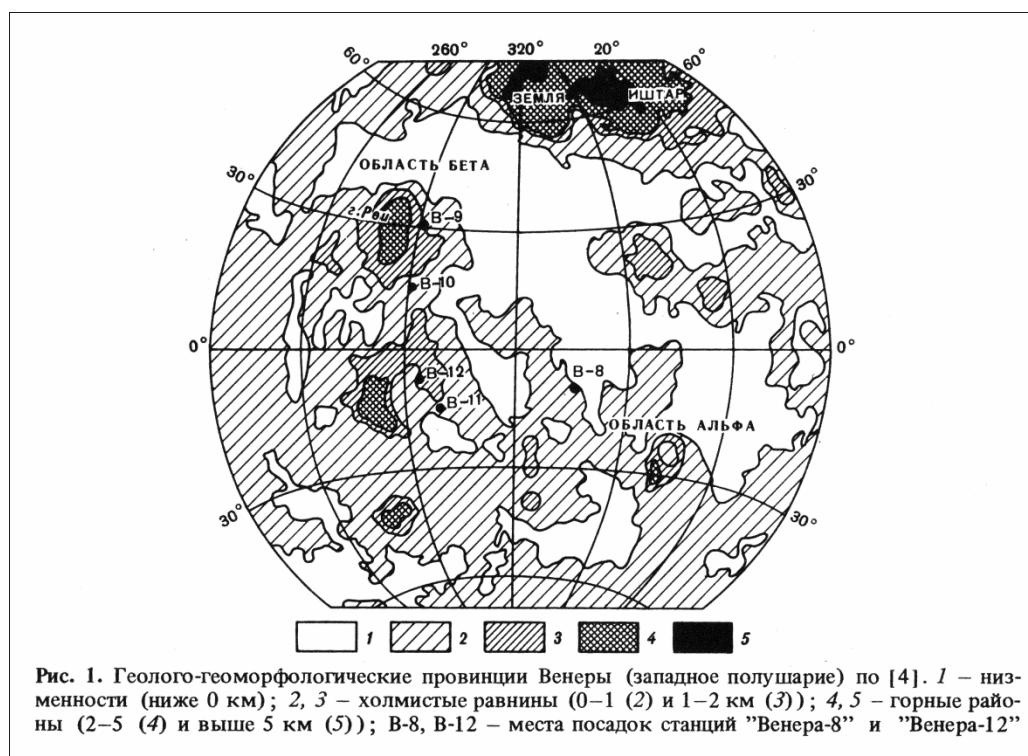
**К.П.Флоренский, О.В.Николаева**

*(Представлено академиком Д.С.Коржинским 9.VI.1981)*

В земных и лунных горных породах содержание естественных радиоактивных элементов коррелирует с химическим и петрологическим типом пород. Первое же прямое измерение содержания К, U и Th в месте посадки станции «Венера-8» позволило А.П.Виноградову [1] утверждать, что Венера так же, как Земля и Луна, дифференцирована на оболочки и имеет кору; состав породы в месте посадки интерпретировался как близкий к кислым магматическим породам Земли. Позже аналогичные измерения в местах посадок станций «Венера-9» и «Венера-10» показали состав пород, близкий к земным базальтам [2], а литологический тип опробованных пород виден на панорамных изображениях этих местностей [3]. Кроме того, накоплены данные о механических и оптических свойствах поверхностного материала, которые, хотя и косвенно, могут указывать на его вещественный состав. Наконец, недавно получена глобальная геолого-геоморфологическая характеристика поверхности Венеры [4], что дает возможность переосмысления результатов прямых химических измерений на основе всего комплекса данных в привязке к региональной геологической ситуации.

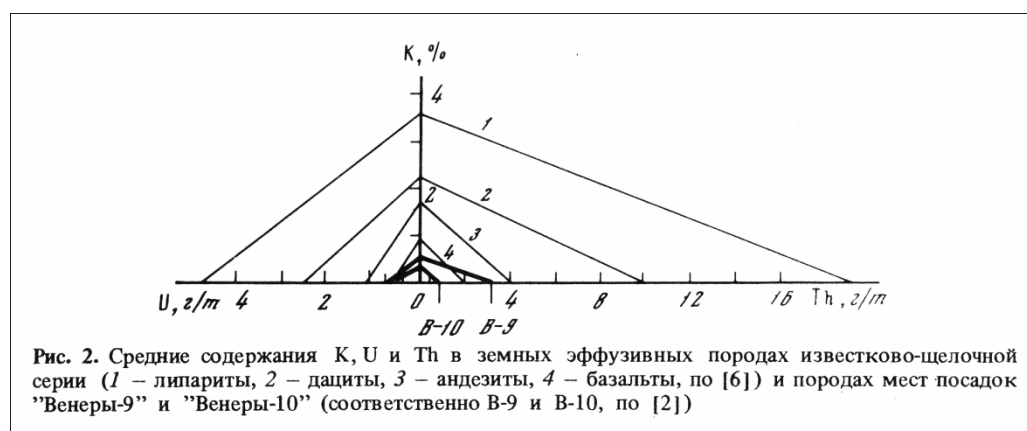
На Венере существуют три основных типа местности — низменности, горные районы и обширные холмистые равнины (рис. 1). Низменности относительно ровные и, судя по радарным данным, могут быть площадными лавовыми излияниями [4], перекрытыми местным и

привнесенным обломочным материалом. Что-либо более определенное о породах этой провинции сказать сейчас трудно.



Горные районы на Венере обычно сильно расчлененные, с грубообломочными каменистыми осыпями [4]. На окраине области Бета по результатам анализа панорамы места посадки «Венеры-9» в рыхлом грунте с пылевой фракцией [5] наблюдается множество темных камней, частью остроугольных, уплощенных и относительно однородных, а частью более изометричных, неоднородных и менее прочных. Породы имеют свежий облик и могут быть магматическими [3]. Измеренные здесь содержания К, U и Th показаны на рис. 2, удобном для наглядного сопоставления на плоскости трех (или более) переменных. Сопоставление их с содержанием этих элементов в интрузивных и эффузивных породах известково-щелочной и щелочной серий показало, что эти породы более близки к базальтам; это согласуется и с их геологическим положением неподалеку от вулканического щита [4] горы Реи. Однако, как показывает дешифрирование панорамы [3], эти изменения относятся преимущественно к рыхлому грунту — продукту разрушения базальтовых пород. Вероятно, остроугольные камни — это

обломки массивных свежих базальтов. Если же предполагать высокую газонасыщенность извержений на Венере, то изометричные камни можно считать пирокластическими образованиями.



В зоне перехода от горных районов к равнинам возрастает степень зрелости ландшафта, отчетливо сказывается влияние процессов поверхностного изменения пород [3]. В месте посадки «Венеры-10» наблюдаются крупные темные уплощенные глыбы, погруженные в грунт и напоминающие выходы коренных пород. Они сильно эродированы, неоднородны, с ячеисто-бугристой поверхностью. Измеренные здесь содержания К, U и Th также согласуются с базальтовым составом породы (рис. 2), но некоторое их понижение, которое рассматривалось как признак большей основности состава [2], можно трактовать иначе. Судя по анализу панорамы [3], гамма-измерения относятся здесь преимущественно к выветрелой глыбе, а на рис. 2 видно, что относительно земных базальтов при сходных содержаниях U и K содержание Th в глыбе несколько понижено, в то время как в рыхлом грунте («Венера-9»), напротив, несколько повышено. Возможно, предпочтительное разрушение основной массы породы по сравнению с вкрапленниками и образование легко выдуваемой пылевой фракции приводят к несколько большему выносу из породы материала с повышенным Th/U-отношением [6] и преимущественному накоплению его в грунте, вероятно, в форме

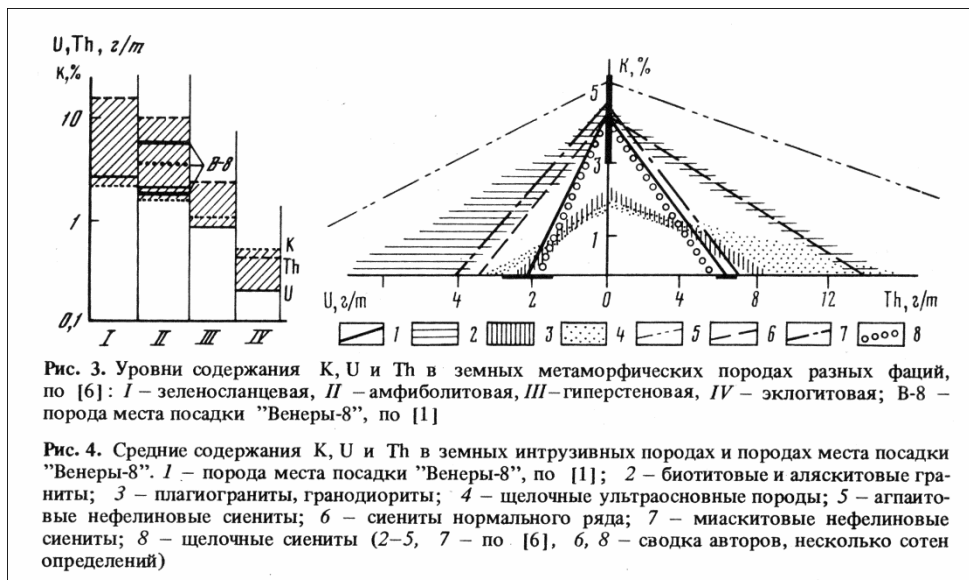
тяжелых акцессорных минералов; существенного перераспределения U и K при этом не происходит.

Холмистые равнины занимают больше половины всей площади поверхности Венеры. По плотности распределения обнаруженных здесь кратерных форм предполагается [4], что эта провинция может быть аналогична древнейшим материковым районам других планет, сохранившим следы интенсивной метеоритной бомбардировки поверхности. Каменистость поверхностного материала равнин в среднем ниже, чем горных районов [4], в грунте также есть пылевая фракция [7, 8]. По мере удаления от горного района в холмистые равнины альbedo поверхности [9] закономерно возрастает: район посадки «Венеры-9»  $\sim 0,05$ , «Венеры-10»  $\sim 0,1$ , «Венеры-12»  $0,07^{+0,05}$ , «Венеры-11» — выше, чем для трех предыдущих, «Венеры-8»  $\geq 0,6$  или  $0,2-0,4$ . Это связано не только с уменьшением шероховатости материала, но и с увеличением его светлоты. Так, по телефотометрическим данным [10] максимальное альbedo камней в месте посадки «Венеры-9»  $0,03-0,04$ , а «Венеры-10»  $0,07-0,12$  и в грунте появляются светлые обломки [3]. Напомним также, что при удалении от горной области Бета породы становятся существенно более выветрелыми. Поверхностный материал холмистых равнин по сравнению с материалом горных районов более светлый и более измененный поверхностными процессами.

Выветривание на Венере происходит при  $500^{\circ}\text{C}$  и  $p_{\text{CO}_2}$  около 100 атм, т. е. в условиях, близких к условиям метаморфизма амфиболитовой фации Земли, но при очень низком давлении воды. Выветрелые породы Венеры — это в сущности сформированные в «сухих» условиях метаморфические породы, и интересно, что по уровню содержания K, U и Th материал равнин в месте посадки «Венеры-8» оказывается сходен с земными породами, метаморфизованными в условиях амфиболитовой фации (рис. 3). Однако, если процессы

венерианского выветривания почти не затрагивают K и U, а содержание Th меняют лишь незначительно, то по данным о содержании этих элементов можно подойти к составу породы, подвергшейся выветриванию (метаморфизму).

Поиск земных радиогеохимических эквивалентов на диаграммах для эффузивных и интрузивных пород показал, что материал холмистых равнин в месте посадки «Венеры-8» отличается от предполагавшихся [1] здесь кислых пород слишком низким содержанием U и Th и наиболее близок к средним по составу интрузивным породам щелочной серии — сиенитам (рис. 4), которые в самом деле светлее базальтов. На Земле сиениты с таким содержанием K, U и Th образуют специфическую группу пород, в которых атомные отношения  $(K + Na)/Al \approx 0,9$ ,  $Na/K \approx 2,0$ , как в миаскитовых нефелиновых сиенитах, а  $\sum Fe/(Ca + Mg) \approx 1,6$  и  $(K + Na)/(Ca + Mg) \approx 6,7$ , как в агпаитовых нефелиновых сиенитах [11]. Петрохимически это Na щелочные сиениты с пониженным содержанием Ca и Mg. Минералогически — бесплагиоклазовые породы с 60–70% микроклин-пертита, нефелин-содержащие или безнефелиновые, всегда с эгирином-авгитом, часто арфведсонитом и рибекитом, иногда лепидомеланом; обычны апатит, сфен, циркон, магнетит. Возможность устойчивого существования и пути преобразования таких пород на Венере требуют дальнейшего изучения. Стоит обратить внимание и на то, что массивы щелочных пород на Земле часто дают круговые в плане формы.



Материал холмистых равнин по геологическим данным [4] может быть представителем древнейшего корового вещества Венеры. Если по своему химическому составу он действительно близок Na щелочным сиенитам, то материковая кора Венеры, подобно материковой коре Луны и «гранитной» оболочке Земли, также может быть полевошпатовой, но в отличие от преимущественно анортитовой коры Луны и калишпат-анортит-альбитовой коры Земли она может быть преимущественно альбитовой. На Земле щелочные породы, как, впрочем, и анортозитовые, очень редки. Но распространенность типов пород на Земле — это специфика самой Земли. Ее «гранитная» кора — главным образом метаморфические породы, образованные в ходе циклических процессов при активном участии  $H_2O$ , в то время как древнейшая материковая кора Луны формировалась в ходе ударных процессов практически без летучих, не удержанных этим небольшим планетным телом. Можно думать, что разделение K, Na и Ca тесно связано с количеством и составом летучих на планетах и могло происходить крайне рано в условиях интенсивной ударно-метаморфической переработки поверхности, когда K и Na — наиболее легколетучие элементы и поведение их различно, а Ca — один из наиболее труднолетучих [12]. В отличие от состава пород наложенного базальтового вулканизма, в

среднем химически однотипных для Земли, Луны, Марса [13] и Венеры, средний состав материковых кор индивидуален для каждой планеты.

Авторы благодарны А.Т.Базилевскому, А.А.Пронину и В.П.Шашкиной за полезную критику и помощь в работе.

Поступило  
10 VII 1981

Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И.Вернадского  
Академии наук СССР, Москва

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов А.П., Сурков Ю.А. и др.* — ДАН 1973, т. 208, №3, с. 576–579.
2. *Сурков Ю.А., Кирнозов Д.Ф. и др.* — Космич. исслед., 1976, т. 14, вып. 5, с. 704–709.
3. *Флоренский К.П., Базилевский А.Т. и др.* В кн.: Первые панорамы поверхности Венеры. М.: Наука, 1980, с. 107–127.
4. *Mazursky H., Eliason E. et al.* — J. Geophys. Res., 1980, vol. 85, №A13, p. 8232–8660.
5. *Мошкин Б.Е., Экономов А.П., Головкин Ю.М.* — Космич. исслед., 1979, т. 17, вып. 2, с. 280–285.
6. *Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З.* Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л.: Недра, 1979.
7. *Экономов А.П., Мошкин Б.Е. и др.* — Космич. исслед., 1979, т. 17, вып. 5, с. 714–726.
8. *Ragent B., Blamont J.* — Science, 1979, vol. 203, №4382, p. 790–792.
9. *Головкин Ю.М.* — Космич. исслед., 1979, т. 17, вып. 3, с. 473–476.
10. *Селиванов А.С., Панфилов А.С. и др.* В кн.: Первые панорамы поверхности Венеры. М.: Наука, 1980, с. 68–79.
11. *Герасимовский В.И.* — Геохимия, 1956, №5, с. 61–74.
12. *Яковлев О.И., Парфенова О.В., Архангельская В.Н.* — ДАН, 1978, т. 240, №4, с. 934–937.
13. *Базилевский А.Т., Москалева Л.П. и др.* — Геохимия, 1981, №1, с. 10–16.

