ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ НА ВЫСОТЕ 70 КМ

Для разрешения самых различных проблем геофизики, радиофизики, метеорологии, аэронавигации и многих других отраслей науки и техники крайне существенно знать химический состав атмосферы на различных высотах. До настоящего времени непосредственный химический анализ состава воздуха удалось осуществить только до 29 *км*. Анализ этот осуществлялся путём взятия проб воздуха на различных высотах во время полетов стратостатов (до 22 *км*) и в некоторых случаях шаров-зондов (между 25 и 29 *км*). Тщательные измерения содержания кислорода и гелия в этих пробах показали, что до высоты примерно 20 *км* состав воздуха остаётся неизменным, а начиная с этой высоты, процентное содержание кислорода несколько убывает, а процентное содержание гелия несколько возрастает, что могло быть истолковано, как указание на начинающееся с этих высот диффузионное разделение газов в соответствии с барометрической формулой. Однако наблюдённые изменения в составе воздуха были очень малы, а количество и точность измерений не давали оснований для уверенных заключений. В частности, наблюдаемые отклонения могли быть приписаны нерегулярностям в атмосфере, таким, как погода[1].

Вместе с тем косвенные методы, базирующиеся на изучении спектров полярных сияний и свечения ночного неба, законах сумеречной люминесценции и других явлениях, убедительно свидетельствовали, что вплоть до самых больших, доступных исследованию высот атмосфера Земли остаётся в основном кислородно-азотной и что водород в ней в сколько нибудь заметных количествах отсутствует[2]. Точно так же теоретическое рассмотрение процессов диффузионного разделения смеси газов на разных высотах вместе со свидетельствами наличия на больших высотах мощных воздушных течений, полученными на основании наблюдения дрейфа серебристых облаков, метеорных следов и других образований, приводило к заключению, что по крайней мере до высот порядка 100 *км* атмосфера должна быть полностью перемешанной[3].

Таким образом, хотя и существовала уверенность в однородности состава воздуха вплоть до очень больших высот, вопрос о степени этой однородности оставался открытым до появления возможности проведения непосредственного химического анализа.

В реферируемой работе[4] излагаются результаты прямого химического анализа проб воздуха, взятых на высотах около 70 *км*, повидимому, полностью подтверждающие неизменность состава воздуха до этих высот. Пробы были получены во время исследовательских полётов ракет V-2 в стратосферу, проводившихся в течение последних лет на испытательном полигоне Белые Пески в Нью-Мексико (33° сев. широты).

Техника получения проб рисуется в таком виде. Ракета была снабжена откачанными стальными баллонами, которые с помощью тонкостенных лужёных медных трубок соединялись с находившимися под обшивкой ракеты камерами. Камеры располагались в хвостовой части ракеты и через отверстия в борту ракеты продувались струёй окружающего воздуха. В заранее заданный момент автоматически вскрывался запор, закрывавший соединительную трубку, и воздуху из камеры открывался доступ в баллон. Через несколько секунд баллон снова запаивался путём одновременного прогрева и сплющивания соединительной медной трубки. Пробы брались во время свободного подъёма ракеты. Некоторое количество баллонов благополучно вернулось на землю, имея лишь небольшие вмятины, и давление заключённого в них воздуха оказалось в согласии с ожиданиями для случая правильной работы механизмов. Из баллонов воздух был затем перекачан в стеклянные сосуды объёмом 50 *см*³ под давлением около 4 *см* ртутного столба, что соответствовало

примерно 2,5 *см*³ газа при нормальных условиях. Часть этих сосудов и была получена авторами для анализа, причём каждый анализ требовал 0,2—0,5 *см*³ воздуха. Пробы были получены во время трёх полётов, производившихся в разное время. В статье приводятся результаты анализов пяти проб, взятых во время двух полётов примерно на одной и той же высоте 70 *км*.

Как показали опыты, пробы воздуха, подвергнутые анализу не тотчас по их взятии, а по прошествии некоторого времени (что неизбежно имеет место в случае взятия проб описанным методом), оказываются беднее кислородом, чем воздух, вводимый в баллон. (Это можно объяснить процессами окисления, идущими в баллоне.) Поэтому, как и в предшествовавших работах Панета и Глюкауфа[1,5], суждение о составе атмосферы строилось не на основании непосредственного измерения процентного содержания кислорода и азота, а на измерении относительной концентрации благородных газов. В данном случае измерялось содержание гелия, неона и аргона относительно смеси азот плюс аргон. Если бы атмосфера была не перемешанной, а наблюдалось бы диффузионное разделение газов в соответствии с барометрической формулой, то две первые относительные концентрации должны были бы возрастать с высотой, в то время как последняя должна была бы убывать, причём для данной пробы эти три отношения должны быть связаны между собой вполне определённым образом.

Авторы указывают, что анализы на гелий и неон проводились с помощью методики, являющейся дальнейшим усовершенствованием применявшейся в предшествующих исследованиях Панета и Глюкауфа[1,5]. Определение содержания аргона в основном сводилось к его очистке и последующему измерению давления.

Первым этапом всех анализов было освобождение от кислорода. Авторы обнаружили, что в исследованных пробах кислород вообще не присутствовал в сколько-нибудь заметных количествах (меньше 0,1%). Они объясняют это тем, что он был захвачен в процессах окисления, сопровождающих запаивание медной трубки. Содержание водорода оказалось также менее 0,1%. Однако, как отмечают авторы, и этот результат нельзя относить к наружному воздуху на соответствующей высоте, ибо водород мог быть абсорбирован стенками металлического и стеклянного сосудов. Результаты измерений концентраций гелия, неона и аргона, выраженные в процентах содержания смеси азот плюс аргон, представлены в таблице.

Относительные концентрации гелия, неона и аргона, выраженные в процентах к содержанию смеси азот плюс аргон

	Воздух у поверхности Земли	Воздух на высоте ≈ 70 *км*
Аргон	1,160 ± 0,005	1,165 ± 0,005
Гелий (× 10⁴) .	6,62 ± 0,04	6,34 ± 0,08
Неон (× 10⁴) .	22,9 ± 0,1	22,75 ± 0,15

Значения относительных концентраций для высоты 70 *км* являются средними из пяти различных проб. Из таблицы видно, что относительные концентрации аргона и неона остаются в пределах точности измерений неизменными по сравнению с воздухом приземных слоёв. Относительная концентрация гелия как будто несколько уменьшается (примерно на 4%). Но, как указывают авторы, этому уменьшению не следует придавать серьёзного значения вследствие возможных неточностей определения, а также недостоверности оценки погрешностей.

Авторы указывают ещё один источник ошибок, делающих их результаты не вполне достоверными. Согласно аэродинамическим расчётам имеется возможность того, что в течение 80 секунд, необходимых ракете, чтобы достигнуть высоты, на которой были взяты пробы, приземный воздух, заполнявший ракету до её подъёма, будет неполностью сменён стратосферным воздухом. Иными словами, имеется возможность, что при взятии пробы вместе с воздухом, окружающим ракету на данной высоте, в баллон попадёт некоторое количество приземного воздуха (или воздуха с меньших высот), увлечённого ракетой. Это создаёт необходимость дальнейших исследований в этой области. Однако, как справедливо отмечают авторы, даже предположение, что 50% воздуха, входящего в состав пробы, является приземным воздухом, не может поколебать основного результата, именно того, что химический состав воздуха на высоте 70 *км* практически одинаков с его составом у земной поверхности. Как было уже выше указано, этот результат находится в полном согласии со всем комплексом представлений о строении высоких слоёв атмосферы и процессах, имеющих в них место.

Г. Розенберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. E. Glueckauf and F. A. Paneth, Proc. Roy. Soc. **A 185**, 89 (1945), см. также Е. О. Хальбарт, УФН **34**, 481 (1948).

2. См., например, И. А. Хвостиков, Свечение ночного неба, изд. АН СССР, 1948.

3. H. B. Maris, Terr. Mag. **33**, 233 (1928); **34**, 45 (1929); E. H. Gowan, Proc. Roy. Soc. A **120**, 655 (1928); **A 128**, 531 (1930), см. также Е. О. Хальбарт, УФН **34**, 481 (1948).

4. K. E. Chackeff, F. A. Paneth and E. J. Wilson, Nature **164** 128 (1949).

5. F. Glueckauf, Rroc. Poy. Soc. **A 185**, 38 (1945).