

---

## К ВОПРОСУ О БИОЛОГИЧЕСКОМ ДЕЙСТВИИ КОСМИЧЕСКОЙ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ГОРАХ

*В. И. Данилейко*

В истории исследования биологического действия космической радиации можно, по-видимому, выделить три основных этапа:

1. Изучение в высокогорных условиях влияния космической радиации на растительные организмы.

2. Исследование влияния космической радиации на растительные и животные организмы во время полетов на стратостатах на высотах до 30 км. Во время полетов применялись самые разнообразные методы исследования:

наблюдения за общим состоянием организма людей и животных, участвовавших в полетах (Simons, 1958);

генетические исследования с использованием семян растений, насекомых и их яиц и т. д. (Фризен, 1936, Eugster, 1953, и др.);

гистологические исследования консервированных биологических тканей небольших животных, поднимаемых в стратосферу в герметических капсулах (Eugster, 1953; Campbell, 1954, и др.).

3. Радиобиологические исследования на советских искусственных спутниках Земли. Проведены с использованием самых разнообразных методических приемов (физиологических, генетических, иммунологических, цитологических и т. п.) на биологических объектах, стоящих на различном уровне развития: организмы; органы; ткани; клетки, развивающиеся вне свойственной им клеточной ассоциации, и одноклеточные организмы; организмы с субклеточной структурой и органическое вещество.

Наиболее обширные данные, которыми располагает к настоящему времени космическая радиобиология, были собраны во время экспериментов на советских ИСЗ.

Фактический материал, полученный в зарубежных исследованиях на стратостатах, несмотря на многообразие методических приемов, ограничен и не может быть использован в качестве осно-

вы для каких-либо выводов о биологическом действии космической радиации (Slater, 1956). Исключение представляют данные Д. Еугстера (1953), Х. Ягоды и Х. Смит (Yagoda, Smith, 1954), обнаруживших ионизационные следы в биологических тканях, и данные Х. Чейза (Chase, 1955), наблюдавшего депигментацию волосяного покрова у черных мышей, появляющуюся через две-три недели после подъема на высоту до 30 км. В некоторых случаях потеря пигмента (поседение) отмечалось в отдельных волосках, а иногда в группах находящихся рядом волос, образуя небольшие белые пятна. В проведенных ранее экспериментах Х. Чейз (1949) установил, что волосяные фолликулы черных мышей служат чрезвычайно чувствительным индикатором ионизирующего излучения. На основании этих данных автор пришел к выводу, что изменения, наблюдаемые после полетов, обусловлены внедрением в поверхностные ткани тяжелых ядер, входящих в состав первичной космической радиации, и образованием в кожных покровах ионизационных следов.

Хотя приведенное здесь объяснение не было подкреплено гистологическим исследованием прилежащих тканей, тем не менее эффективность теста депигментации при изучении проникающей способности тяжелых ядер признается многими исследователями, а эксперименты с черными мышами проводились до недавнего времени (Ваар, 1959).

В условиях полета вне земной атмосферы, кроме первичной космической радиации, на организм влияет целый ряд дополнительных факторов — вторичное космическое излучение, рентгеновы, а в некоторых случаях и ультрафиолетовые лучи солнца, изменение концентрации и коэффициента униполярности аэроионов в атмосфере кабины и т. д. Эти дополнительные факторы вовсе не безразличны для организма даже при сравнительно низкой их интенсивности.

В частности, Е. М. Крепс и Н. Н. Сиротинин еще в 1934 г. отмечали, что обратимая депигментация (поседение) части волос может наблюдаться в высокогорной местности, в условиях некоторого повышения интенсивности вторичной космической и солнечной радиации и при абсолютном отсутствии, как это было установлено позже, тяжелых ядер.

Можно полагать, что феномен депигментации в этом случае мог быть вызван воздействием частиц, входящих в состав вторичной космической радиации.

В настоящей работе ставилась цель:

1. Проверить возможность появления феномена депигментации в условиях небольшого увеличения интенсивности радиационных факторов.

2. Выяснить, в какой мере небольшое увеличение интенсивности космической радиации может влиять на количественный и качественный состав клеточных элементов крови.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения по депигментации волосяного покрова были проведены во время экспедиций на гору Эльбрус в 1957 и 1958 гг. Полученный материал представляет результаты обследования, а в некоторых случаях опроса 25 человек — участников экспедиций и альпинистов. Было установлено, что у 10 из них спустя 2—3 недели после подъема на высоту 2200 м (Терскол) и выше в волосяном покрове головы, иногда лица и рук, появлялись отдельные депигментированные волосы либо усиливался общий процесс поседедения. У семи человек процесс депигментации был обратимым — спустя некоторое время после спуска с гор седые волосы больше не появлялись либо количество их уменьшилось.

Из второй группы обследованных (15 человек) у шести человек поседевших волос не было вовсе, у девяти они были, но выяснить, изменилось ли их количество, не удалось по различным причинам.

Появление седых волос нельзя считать следствием преклонного возраста, так как половина лиц первой группы была в возрасте от 21 года до 30 лет. Также были проведены наблюдения на животных — одной собаке и 22 черных мышах линии  $C_{57}$ , в течение 24 дней находившихся на высотах 2200, 2900, 3500 и 3900 м над уровнем моря.

Животные получали разнообразный корм и были защищены от влияния холода.

Обнаружено, что у собаки на определенных участках тела количество седых волос к концу экспедиции увеличилось до 23,5; 32,8 и 47,8% от общего числа волос против 9,2; 21,9; 10,7% в домашних условиях (в каждом случае на участке подсчитывалось несколько сот волос).

У черных мышей до опыта было обнаружено всего три седых волоса. К концу опыта седые волосы появились у всех животных. В качестве примера приведено фото мыши № 8, сделанное к концу экспедиции (рис. 1).

У двух мышей участки депигментации охватывали группы в несколько расположенных рядом волос, образуя седые пятна, весьма напоминающие описанные Х. Чейзом (1955); один из таких участков изображен на рис. 2.

Две эти мыши на высотах 2900—3900 м находились в течение 10 суток в контейнере, экранированном сверху свинцовой пластиной толщиной в 1 см.

Изменения в количестве форменных элементов крови изучались нами в 1957 г. у 9 человек (участников экспедиции) и 30 белых мышей. Было установлено, в частности, что количество эритроцитов в 1 мл<sup>3</sup> крови людей, равнявшееся до опыта  $4180 \pm 0,04$  млн. на высоте 3900 м через полмесяца после приезда в горы достигло  $5.212 \pm 0,20$  млн., т. е. возросло на 19,8%. Затем по мере акклиматизации, несмотря на дальнейший подъем, количество эритроцитов

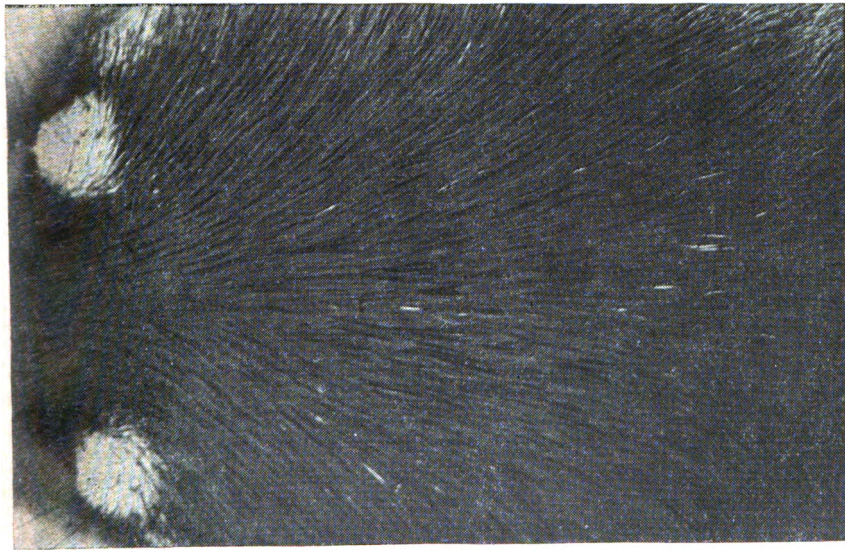


Рис. 1. К концу экседидии в шерстном покрове животного № 8 появились 32 седых волоса

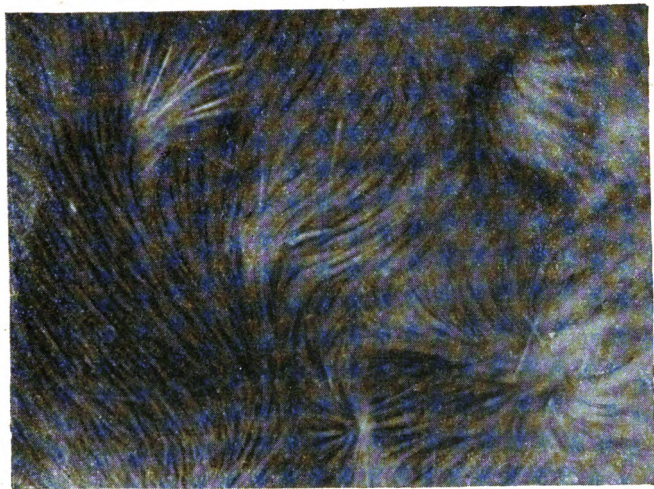


Рис. 2. Животное № 4 десять суток находилось в контейнере под свищовой пластиной в 1 см. К концу экседидии на спине этого животного обнаружено два пучка седых волос. Один из них виден на фото

начало снижаться. Сдвиги в содержании гемоглобина были незначительны.

Чтобы выяснить, в какой мере полицитемия, обычно наблюдаемая в горах, зависит от радиационных факторов, и, в частности, от влияния вторичного космического излучения, было поставлено две серии опытов. В первой серии морфологический состав крови исследовался у четырех белых мышей, в течение 10 суток находившихся на высоте 2900—3900 м внутри контейнера, накрытого свинцовой пластинкой толщиной в 1 см.

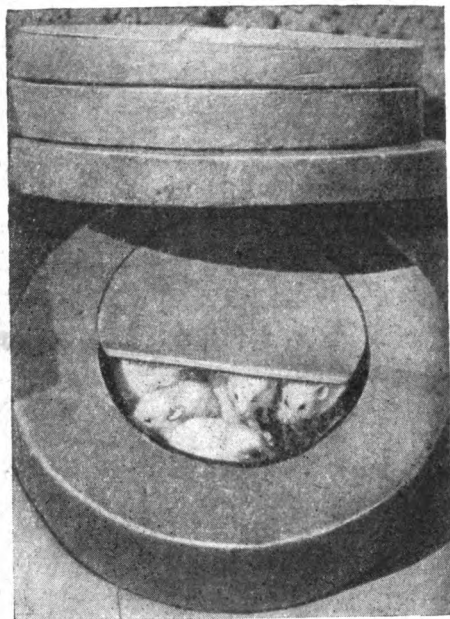


Рис. 3. Общий вид свинцового контейнера с животными. Крышка сдвинута

Во второй серии исследования проводились в аналогичных условиях на шести животных, находившихся в свинцовом контейнере с толщиной боковых стенок 5 см и крышкой 8 см (рис. 3).

Как известно, применение свинцовых пластин толщиной около 1 см приводит к некоторому повышению уровня ионизации в связи с образованием вторичных частиц, а пластины толщиной до 8 см устраняют влияние всех частиц с энергией  $10^9$  эв и ниже и поглощают примерно 50% мягкой компоненты

вторичного космического излучения (Добротин, 1954, и др.).

Животные, служившие контролем, находились в деревянной клетке. Питание и температурный режим в гнездах всех трех групп мышей были идентичными. Мыши, помещенные в металлические контейнеры, были изолированы от свинца тонкой жестию и картоном.

Часть животных на различных этапах эксперимента погибла при перевозке. Поэтому в таблице собраны результаты исследования крови у 18 мышей, уцелевших до конца экспедиции.

В  $1 \text{ мм}^3$  крови, взятой из сосудов хвоста, содержание эритроцитов в домашних условиях составляло в среднем  $9,33 \pm 0,28$  млн. К концу опыта количество эритроцитов в крови животных равнялось  $9,82 \pm 0,39$  млн. (первая серия) и  $9,94 \pm 0,71$  млн. (вторая серия), а в контрольной группе  $11,48 \pm 0,35$  млн., т. е. в среднем больше на 13%.

**Результаты исследования количества эритроцитов, гемоглобина  
и лейкоцитов в крови мышей в горных условиях**

Серия	Число животных	До опыта			К концу опыта		
		эритроциты, млн. в 1 мм <sup>3</sup>	Hb, %	лейкоциты, тыс. в 1 мм <sup>3</sup>	эритроциты, млн. в 1 мм <sup>3</sup>	Hb, %	лейкоциты, тыс. в 1 мм <sup>3</sup>
1-я	4	9,33 ± 0,28	88 ± 3	8,9 ± 1,2	9,82 ± 0,39	98 ± 5	11,5 ± 2,3
2-я	4	9,36 ± 0,27	90 ± 0,7	12,0 ± 0,7	9,94 ± 0,71	103 ± 6	18,4 ± 0,7
Контроль	10	9,23 ± 0,14	89 ± 1	10,0 ± 0,9	11,48 ± 0,35	105 ± 2	16,7 ± 2,5

При исследовании содержания гемоглобина и лейкоцитов к концу опыта отмечалось их увеличение в крови всех трех серий животных. В наибольшей степени содержание гемоглобина возросло у животных контрольной серии, а лейкоцитов — во второй серии.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Каковы причины депигментации волосяного покрова в условиях высокогорья?

Эти нарушения не связаны ни с гипоксией, ни с усилением на этих высотах ультрафиолетовой части спектра солнечной радиации. Вероятнее всего, что они являются следствием действия на поверхностные ткани частиц, входящих в состав вторичной космической радиации (электронов, позитронов и т. д.).

Весьма показательны в этом смысле изменения, отмеченные у животных, живших в контейнере со свинцовой крышкой в 1 см. Вызваны они были, по-видимому, внедрением в поверхностные ткани организма частиц, образующихся при взаимодействии космического излучения с веществом крышки. Можно предполагать, что депигментация явилась следствием появления в очаге ионизации атомов H, радикалов OH, перекиси водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и, возможно, других веществ.

Но если поседение волос может быть вызвано ливневыми частицами, возникшими вследствие проявлений так называемого переходного эффекта, в условиях абсолютного отсутствия тяжелых ядер, то совершенно ясно, что использовать этот тест во время высотных и космических полетов можно лишь для наблюдения за суммарным действием на организм частиц, входящих в состав космической радиации.

Среди причин, вызывающих полицитемию в горных условиях, некоторое значение имеет увеличение интенсивности солнечной радиации, ионизации воздуха и т. д. В свое время считали даже, что изменения клеточного состава крови на высоте зависят глав-

ным образом от усиления влияния лучей солнца. Влияние солнца на эритропоэз было подтверждено многими экспериментаторами (Сиротинин, 1927; Егоров, 1928, и др.). Механизм его действия на кроветворные органы живых существ полностью не выяснен. Принято считать, что действие это опосредствованное — ведущими передаточными звеньями служат нервная и эндокринная системы.

Однако во время «подъемов» в барокамерах, в горах и на самолетах было обнаружено, что главенствующим фактором, предопределяющим реакцию кроветворного аппарата в этих условиях, является снижение парциального давления  $O_2$  в воздухе. Результаты исследования клеточных элементов крови часто носят разнородный характер, так как большинство исследователей, учитывая только снижение давления  $O_2$ , в то же время не учитывает влияния радиационных факторов, усиливающихся на высоте. Более того, в вопросе о степени влияния различных излучений в условиях подъема в горах до сих пор еще много неясного, хотя необходимость таких исследований подчеркивалась многими авторами (Жуков, Франк, 1936; Ван Лир, 1947).

Суммируя данные, полученные в результате наблюдения за функцией кроветворной системы, мы пришли к выводу, что заметное различие в содержании эритроцитов в крови подопытных и контрольной группы мышей обусловлено влиянием солнечной радиации. Последствий экранирования части животных от мягкой компоненты космического излучения обнаружить не удалось, что можно объяснить как недостаточным количеством наблюдений, отсутствием тонких методических приемов исследования, так и весьма незначительным уровнем космического излучения. Вызванная этим излучением ионизация воздуха на высоте 3—4 км равна 0,3—0,5 мгер в сутки, что лишь в 3,5 раза превышает ионизацию на уровне моря.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ван Лир. Аноксия и влияние ее на организм. М., Медгиз, 1947.  
Добротин Н. А. Космические лучи. М., 1954.  
Егоров А. Физкультура, 1928, 1—2.  
Жуков А. и Франк Г. Труды Эльбрусской экспед. 1934 и 1935 гг., 1936  
Сиротинин Н. Н. Клиническая медицина, 1927, 5, 22(73).  
Фризен Г. Успехи современной биологии, 1936, 5, 4.  
Чейз Х. Действие первичных космических лучей на кожу. Вопросы медицины при межпланетных полетах. М., ИЛ, 1955.  
Baar S. Missiles a. rockets, 1959, 5, 24.  
Campbell B. J. Aviat. Med., 1954, 25, 4.  
Chase H. J. Morphology, 1949, 84, 1.  
Eugster J. J. Aviat. Med., 1953, 24, 3.  
Simons D. J. Aviat. Med., 1958, 29, 1.  
Slater A. Aeroplane, 1956, 5.  
Yagoda H., Smith H. J. Aviat. Med., 1954, 25, 1.

## S U M M A R Y

1. Observations made upon people and animals that for long remained in mountains at the altitude of 2200—3900 m above the sea level demonstrated that in such cases depigmented (grey) hairs appeared or their number increased.

The phenomenon of hair depigmentation in people and animals is evidently a result of the action of cosmic radiation particles on surface tissues of an organism. High sensitivity of hair follicles of black mice to the influence of ionizing radiations makes it possible to employ the animals as biological indicators of cosmic radiation.

In case of appearance of grey spots on the hairy coat of the animals the conclusion that heavy nuclei of cosmic radiation have hit the tissue can be drawn only if ionization traces are found there histologically.

2. The mice that during 10 days stayed in an open cage at the altitude of 2900—3900 m showed a 13% increase in erythrocytes as compared to the animals protected from solar radiation. This confirms the idea previously suggested by various authors of the influence of solar radiation upon the hemopoietic function of bone marrow both in usual and mountain conditions.

