

## Результаты химического анализа литосферы горного Кавказа

*А. И. Литвинов*

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»*

Представлены данные химического анализа проб воды, снега, льда и почвы Приэльбрусья, проведенного экологическими экспедициями 2007 и 2008 гг. Экспедиции были организованы Альпклубом Национального исследовательского университета «МИЭТ» под руководством А. И. Литвинова. Участники экспедиций — студенты университета и школьники Зеленограда. Сделан вывод о присутствии в ручьях и реках, на снежных склонах и ледниках Приэльбрусья веществ, разрушительных для Природы гор. Подтверждено предварительное опасение, что скопление грязи в атмосфере над горами Кавказа — результат производственной и иной деятельности человека.

*Ключевые слова:* климат Кавказа; циклон; экологическая проблема; окружающая среда; предельно допустимая концентрация; вредные вещества.

Прежде всего, следует признаться, что автору, равнинному жителю, случилось прикоснуться к Красоте горных пейзажей Кавказа в состоянии светлого романтизма и духовной открытости юного студента-авиатора. Очарование было так сильно, что хотелось встречаться с этой красотой регулярно — каждый год, каждое лето. Школа инструкторов альпинизма давала право выпускникам иметь отпуск летом, независимо от места работы и занимаемой должности. Это право было нормативно закреплено постановлением Совета Министров СССР от 03.11.1951 № 43/59, подписанным И. В. Сталиным.

*В постановлении отмечены не только большие заслуги инструкторов альпинизма в подготовке солдат к боевым действиям в сложных условиях гор Кавказа (здесь снежные лавины, камнепады, скрытые*

*снегом трещины на ледниках могут вызвать потери бойцов, превышающие потери в боях), но и важная роль инструкторов советского альпинизма в воспитании молодого поколения в духе миропонимания Добра — любви к человеку и природе.*

Первозданная Красота природы — это красота вне нас — наблюдаемая. Для создания внутреннего образа красоты как эталона Красоты требуется особое настроение наблюдателя. Соприкасаясь с красотой природы в коллективе юных воспитанников, легко и радостно впитывающих миропонимание Добра, автор явно ощутил глубокое погружение в мир Красоты: Красота как бы чувствовала, что те, кто ею любуется, готовы ей служить, защищать ее.

Летом 2005 г. Альпклуб МИЭТ организовал и успешно провел альпинистские сборы в Приэльбрусье: специальные

тренировки, горные походы и несложные восхождения на вершины — в рамках программы клуба «Здоровье природы — здоровье человека». Множество фактов дисгармонии Природы Эльбруса вызвало беспокойство и побудило автора к тщательному исследованию признаков разрушения окружающей среды. Результаты этих исследований представлены в статьях: «Приэльбрусье — “Окно” в экосистему Земли. Экологические проблемы» [1] и «Роль климатических особенностей Кавказа в выявлении экологических проблем Земли» [2].

Там же, на склонах Эльбруса, автор подробно рассказал юным участникам восхождения о причинах своего беспокойства, показал отличие состояния горной природы сегодня от первоизданного, во времена Сталина. Автор видел, как духовный мир юных путешественников преобразуется, и они становятся юными экологами.

#### **Постулаты для активных защитников Природы**

1. Принято считать, что природа, не испытывавшая воздействия со стороны человека, является носителем идеальной красоты. Это значит: первоизданный образ красоты природы должен стать духовным (внутренним) образом красоты в сознании человечества и использоваться как эталон красоты при контакте с любой частичкой природы.

2. Поскольку человек взаимодействует не только с природой, но и с обществом, понятие «красота» распространяем и на человека: эталон красоты — «Человек человеку друг, товарищ и брат».

3. Представим себе ситуацию: вы наблюдаете окружающую природную и социальную среду. Ваше миропонимание создает эталон красоты для вас. Сравнивая образ наблюдаемой среды

с вашим эталоном красоты, вы замечаете их различие. Обязательно ли отличие наблюдаемого образа от эталона красоты вызовет чувство беспокойства?

Увы, не обязательно! Для этого в вашем миропонимании должно присутствовать желание служения красоте — желание защитить ее от малейшей угрозы разрушения.

4. Человек становится защитником окружающей среды (значит, экологом), если при малейшей угрозе миру ее красоты он побуждает себя и других людей к активным непрерывным действиям.

*Сведения об экологических проблемах планеты Земля, толкование красоты природы и человека в рамках экосистемы подробно обсуждаются в беседах с юными экологами, цель которых — пробудить искреннее чувство беспокойства о сохранении жизни человечества.*

**Выбор наиболее информативных мест литосферы Приэльбрусья в целях проведения химического анализа.** Прежде всего необходимо определить места для сбора проб с учетом ряда требований.

1. Пробы воды:

а) места, наиболее часто используемые группами туристов и альпинистов для устройства биваков;

б) места, выбираемые животными для водопоя;

в) места, наиболее страдающие от осадков, выпадающих из грязного атмосферного «покрывала»;

г) пробы из ручьев (проточная вода), больших луж (стоячая вода), ручейков на снегу и льду (талая вода).

2. Пробы снега должны отражать многослойную историю загрязнений:

а) поверхностный снег (старый и свежевывалившийся);

б) глубинный снег (несколько уровней до слоя зимнего снега).

3. Пробы льда должны охватывать различные слои ледника: а) места наибольшего таяния (свободные от снега) — язык ледника и его ледовые «лапы»; б) участки под снегом и оголенные — основное русло ледника.

Взятие проб осуществлялось таким образом, чтобы можно было проводить содержательное сравнение результатов их анализа. Так, пробы, собираемые в районе Эльбруса (у Главного Кавказского хребта и по ущелью Ирик-Чат), позволяют измерить рассеивание загрязнения. Пробы, взятые в Шхельдинском ущелье (восточнее Эльбруса примерно на 10 км), дают возможность оценить влияние моря на процессы выпадения вредных элементов из грязного «покрывала» на склоны Эльбруса. Пробы, добытые в районе Местийского перевала Главного Кавказского хребта (восточнее Эльбруса примерно на 20 км), показывают уменьшение влияния моря на выпадение грязных осадков (с учетом результатов анализа проб Шхельдинского ущелья). В районе Пика Зимнего (высота около 4500 м) воздушные потоки насыщаются влагой значительно меньше, чем те, которые проходят над морем (струи циклона в этом случае больше наблюдались над Арменией и Грузией).

Определена география сбора проб: движение по крутым горным тропам, по осыпным и снежным склонам, по ледникам с открытыми и закрытыми (скрытыми под слоем снега) трещинами. С подъемом на значительную высоту (начиная с высоты 2500—3000 м) перед участниками экспедиции возникает еще одна проблема — работа в условиях недостатка кислорода. Следует учитывать также сложные климатические условия гор, которые требуют значительных усилий по переноске грузов (личное и групповое снаряжение, также

снаряжение для выполнения экологических задач) и предельной аккуратности при движении по горному рельефу. Это значит, что участники экспедиции должны пройти специальную подготовку в городских условиях и потом в альпинистском лагере.

**Результаты лабораторных исследований проб воды, снега и льда.** Экологической экспедицией было собрано 65 проб (из них 60 — вода, снег и лед; остальные — почва). Распределение мест взятия проб можно видеть на карте-схеме Приэльбрусья [3]. В таблице 1 помещены только те пробы, химический анализ которых дал ненулевой результат.

Из анализа данных, приведенных в таблице 1, следует: неоспоримо влияние рельефа на концентрацию опасных для жизни элементов в литосфере. При планировании дальнейших исследований в районе Приэльбрусья необходимо использовать этот фактор.

Обозначим районы, где предельно допустимая концентрация вредных элементов не угрожает жизни животного и растительного мира (см. таблицу 2).

**Предельно допустимые значения параметров исследования проб литосферы.** В результате многосторонних и длительных наблюдений последствий воздействия вредных для окружающей среды элементов, указанных в таблице 1, были определены предельно допустимые значения этих параметров.

Учитывая важность прогнозирования экологического состояния Приэльбрусья на ближайшее время, сравним наблюдаемую сегодня концентрацию элементов (табл. 1) и предельно допустимую. Для сравнения приведем предельно допустимые значения параметров исследования атмосферы Приэльбрусья: кадмий и свинец — 0,01 мг/л, цинк — 0,5 мг/л.

Таблица 1

Рост величины параметров исследования проб литосферы, приближающихся к допустимому значению

Номер пробы	Вид пробы	Район взятия пробы			Степень щелочности, рН	Элементы (мг/л)					
		название	рельеф	высота (м)		кадмий, Cd	свинец, Pb	медь, Cu	цинк, Zn	хлор, Cl	нитраты, NO <sub>3</sub>
1	Вода	Местийское ущелье	Ручей на мхах (питьевая вода)	2700	8,72	—	—	—	—	0,089	0,047
2	Вода	Местийские ночевки	Ручей у ночевки (талая вода)	3000	8,53	—	—	—	—	0,060	0,094
4	Вода	Местийские ночевки	Ледниковое озеро	3000	8,53	—	—	—	—	0,018	0,039
5	Лед	Верхние Местийские ночевки	Ледник на перевале	3100	8,75	—	—	—	—	2,046	0,0068
6	Вода	Верхние Местийские ночевки	Ручей на леднике	3300	8,56	0,029 ±0,004	0,0094 ±0,0003	0,0020 ±0,0005	0,039 ±0,0005	2,043	0,118
7	Снег зимний	Местийские ночевки	Склон Главного Кавказского хребта (снег по-верхностный)	3000	8,56	—	—	0,020 ±0,0005	—	0,246	0,016
8	Почва	Местийские ночевки	Альпийский луг у бивака	3000	6,96	—	—	—	—	—	—
10	Вода	Склоны гребня Пика Зимнего	Ледниковое озеро (большое) в основании Пика Зимнего	3200	8,56	—	—	0,010 ±0,0005	—	0,246	0,016
11	Снег	Склоны гребня Пика Зимнего	Снежник на морене над ледниковым озером	3200	8,45	—	—	—	—	0,054	0,012
12	Вода	Лагерь «Уллу-гау»	Вода для питья и кухни	2300	8,92	—	—	—	—	0,071	0,033

Продолжение таблицы 1

Номер пробы	Вид пробы	Район взятия пробы			Степень щелочности, рН	Элементы (мг/л)					
		название	рельеф	высота (м)		кадмий, Cd	свинец, Pb	мель, Cu	цинк, Zn	хлор, Cl	нитраты, NO <sub>3</sub>
13	Вода	Лагерь «Уллу-тау»	Родник в лесу (питьевая вода)	2300	—	—	—	—	—	0,071	0,033
15	Вода	Ущелье реки Кулумкол	Ручей у бивака	3300	8,76	—	—	0,020 ±0,004	0,0077 ±0,0015	0,0295	0,033
16	Вода	Шхельдинское ущелье	Ночевка на плече правой морены ледника (таяя вода снежника)	2900	—	—	—	—	—	0,085	0,010
18	Лед	Шхельдинское ущелье	Под Ушбинским ледопадом	3500	8,46	—	—	0,014 ±0,004	—	0,013	0,0082
20	Вода	Шхельдинское ущелье	Родник на погранзаставе (не действующей) (питьевая вода)	2500	8,68	0,0075 ±0,0003	—	—	0,0039 ±0,0008	0,021	0,159
21	Вода	Шхельдинское ущелье	Ночевки на языке ледника (таяя вода из ручья)	2500	8,45	—	—	0,012 ±0,003	—	0,126	0,024
22	Почва	Шхельдинское ущелье	Ночевка Зеленое плечо на правой морене	2900	6,77	—	—	—	—	—	—
23	Почва	Шхельдинское ущелье	Ночевка Зеленое плечо на правой морене	2600	7,04	—	—	—	—	—	—
24	Почва	Шхельдинское ущелье	Место погранзаставы у родника	2500	6,52	—	—	—	—	—	—
25	Вода	Ирик-Чат, над поселком	Место у Нарзанов (вода грунто-вая)	2000	8,65	—	—	—	—	10,230	0,094

Окончание таблицы 1

Номер пробы	Вид пробы	Район взятия пробы			Степень щелочности, рН	Элементы (мг/л)					
		название	рельеф	высота (м)		кадмий, Cd	тяжелые металлы	свинец, Pb	медь, Cu	цинк, Zn	хлор, Cl
32	Вода	Эльбрус, станция Кругозор	Ручей, выше на 50 м (не питьевая вода)	2800	—	—	—	—	—	0,295	0,025
33	Вода	Эльбрус, выше станции Кругозор	Зеленое плечо (вода из снежника)	3150	—	—	—	—	—	0,246	0,016
34	Вода	Эльбрус, станция Мир	Питьевая вода (из трубы)	3300	—	—	—	—	—	0,112	0,016
36	Почва	Эльбрус, станция Гарабаши	Ночевка на гребне, выше станции	3700	7,02	—	—	—	—	—	—
37	Вода	Эльбрус, Приют II	Питьевая вода (из крана)	4100	8,49	—	—	—	—	0,078	0,159
39	Вода	Эльбрус	Скальный гребень ниже Приюта II (ночевка), ручей ледника	4100	8,53	—	0,00014 ±0,00004	—	—	—	—
40	Лед	Эльбрус	Конец гребня над Приютом II	4400	8,80	—	—	—	—	0,078	0,059
42	Снег	Эльбрус	Язык ледника Восточного Эльбруса (глубина взятия пробы 40 см)	3600	8,53	—	—	0,020 ±0,0005	0,0075 ±0,00006	0,118	0,014

**Районы исследования проб литосферы Приэльбрусья  
с допустимыми значениями параметров**

Номер пробы	Вид пробы	Район взятия пробы		
		название	рельеф	высота (м)
3	Снег	Местийские ночевки	Снежник в кулуаре	3000
9	Вода	Склоны гребня Пика Зимнего	Ручей на склоне	2700
14	Вода	Долина реки Адыр-су	Ручей у беседки (по пути к «Уллу-тау»)	2000
17	Снег зимний	Шхельдинское ущелье	Склоны ледника у ночевки близ пика Щуровского	3150
19	Снег свежий*	Шхельдинское ущелье	Ночевка нижняя на правой морене	2600
26	Вода	Ирик-Чат, над поселком	Ручей у Нарзанов (вода питьевая)	2000
27	Вода	Ирик-Чат, над поселком	Ручей у коша для пастухов (ночевка на Зеленой поляне)	2300
28	Вода	Ирик-Чат, ущелье	Ручей на Зеленой поляне (перед подъемом в ущелье Чат)	2750
29	Вода	Ирик-Чат, верхняя ступень	Ночевки перед Зеленым плечом при подъеме в цирк Ирик-Чат	2900
30	Вода	Верхний Баксан, поселок	Питьевая вода из крана	2000
31	Вода	Эльбрус, станция Кругозор	Питьевая вода из крана	2800
35	Вода	Эльбрус, станция Гарабаши	Ручей выше «бочек» (питьевая вода)	3700
38	Вода	Эльбрус, Приют 11	Река на леднике (питьевая вода)	4100
41	Снег свежий	Эльбрус	Конец гребня над Приютом 11	4400
43	Снег свежий*	Эльбрус	Язык ледника Восточного Эльбруса	3700
44	Снег свежий**	Эльбрус	Язык ледника Восточного Эльбруса	3700
45	Снег свежий*	Эльбрус	У гряды северо-восточного гребня Восточного Эльбруса	4000
46	Вода	Эльбрус	Основание северо-восточного гребня Восточного Эльбруса (талая вода)	
47	Лед***	Эльбрус	Основание северо-восточного гребня Восточного Эльбруса, на леднике	

*Примечание.* Глубина взятия проб: \* — 2 см; \*\* — 40 см; \*\*\* — 20 см.

Краткие выводы по результатам анализа проб:

1) взаимосвязь экологических процессов в Приэльбрусье (в частности, на Эльбрусе) с загрязнением атмосферы планеты *доказана*;

2) география сбора проб подтверждает исходные предположения о существенном влиянии рельефа региона на распределение элементов загрязнения в окружающей среде;

3) в некоторых районах величина параметров загрязнения близка к предельно допустимому значению;

4) проведение ежегодных экологических экспедиций в обозначенных районах позволит обеспечить качественный мониторинг состояния литосферы Приэльбрусья, создать базу результатов наблюдений, достаточную для применения статистических методов исследования и прогноза на ближайшее будущее.

**Обобщение полученных результатов исследований и экологический прогноз состояния литосферы Приэльбрусья.** Определим, через какой период времени  $T$  концентрация наблюдаемых параметров может достигнуть предельно допустимого уровня. Примем обозначения:  $p_0$  — состояние параметра  $p$  при первом его наблюдении;  $p_T$  — предельно допустимый уровень того же параметра.

Для расчета величины  $T$  нам потребуется математическая модель (формула) прогноза. Определим исходные условия, которые должны быть учтены в построении модели.

1. Будем считать, что процессы изменения факторов, характеризующих природные условия, вполне идентичны. Это значит, формула для расчета  $T$  одинакова для всех наблюдаемых параметров.

2. Если объем производства в основных странах — разрушителях окружающей среды увеличивается в  $k$  раз,

то вредных веществ образуется тоже в  $k$  раз больше.

3. Предположим, что число участников разрушения экосистемы Земли не меняется в течение всего периода  $T$  прогноза (на самом деле их число неуверенно растет!).

4. Пусть скопление вредоносных веществ в наблюдаемом районе происходит один раз в конце каждого года наблюдения, не рассеиваясь в окружающей среде.

*Данные условия позволяют создать простейшую модель прогноза и обрести первичный опыт, на основе которого возможно построение более сложных моделей.*

Выделим две модели, отвечающие крайним случаям реакции окружающей среды на условия загрязнения.

**Модель 1.** Выпадающие на поверхность горного рельефа вредные вещества нейтрализуются за счет самоочищения окружающей среды Приэльбрусья. Показатель времени  $T$  отражает момент достижения предельно допустимой концентрации (ПДК) наблюдаемого вещества. Для этого случая примем  $T = T_1$ .

*Получение расчетной формулы для периода ПДК  $T_1$ .*

1. Учитывая принятые выше условия, оценим состояние параметра  $p$  через год:

$$p_{1,1} = p_0 \cdot k^1,$$

через два года:

$$p_{1,2} = p_0 \cdot k^2,$$

и так далее через  $n$  лет:

$$p_{1,n} = p_0 \cdot k^n$$

(в записи  $p_{1,n}$  первый индекс показывает рассматриваемую модель).

2. Пусть предельная концентрация параметра достигается через  $n$  лет, причем  $p_{1,n-1} \leq p_T$  и  $p_{1,n} \geq p_T$ .

Вычислим число

$$q = \log_k \frac{p_T}{p_0}.$$

Это значит, что время достижения предельной концентрации наблюдаемого параметра  $T_1 = E(q) + 1$ , где  $E(q)$  есть целая часть числа  $q$ .

**Модель 2.** Выпадающие на поверхность горного рельефа вредные вещества накапливаются в литосфере. ПДК наблюдаемого вещества достигается в момент  $T = T_2$ .

*Получение расчетной формулы для периода ПДК  $T_2$ .*

1. Учитывая принятые допущения, оценим состояние параметра  $p$  через год:

$$p_{2,1} = p_0 \cdot k^1,$$

через два года:

$$\begin{aligned} p_{2,2} &= p_{2,1} + p_0 \cdot k^2 = p_{2,1}(1 + k) = \\ &= (k + 1) \cdot p_0 \cdot k^1, \end{aligned}$$

и так далее через  $n$  лет:

$$p_{2,n} = (k + 1)p_0 \cdot k^{n-1}.$$

2. Пусть предельная концентрация параметра достигается через  $n$  лет, причем  $p_{2,n-1} \leq p_T$  и  $p_{2,n} \geq p_T$ . Учитывая формулу

$$p_{2,n} = (k + 1)p_0 \cdot k^{n-1},$$

вычислим число

$$q = 1 + \log_k \frac{p_T}{(k + 1)p_0}.$$

Это значит, что время достижения предельной концентрации наблюдаемого параметра  $T_2 = E(q) + 1$ , где  $E(q)$  есть целая часть числа  $q$ .

Применим полученные формулы  $T_1$  и  $T_2$  для прогноза значений параметров кадмия  $Cd$ , свинца  $Pb$  и цинка  $Zn$ . Обозначим начальные величины наблюдаемых параметров: для кадмия —  $\alpha_0 = 0,0003$ , для свинца —  $\beta_0 = 0,0004$ , для цинка —  $\gamma_0 = 0,0008$ . ПДК для этих параметров:  $\alpha_T = 0,01$ ,  $\beta_T = 0,01$  и  $\gamma_T = 0,5$  соответственно. Расчеты проведем для двух ситуаций:  $k = 1,05$  — случай длительного финансового кризиса;  $k = 1,1$  — случай финансового оживления.

Таблица 3

### Прогноз достижения ПДК кадмия $Cd$ , свинца $Pb$ и цинка $Zn$ при различном темпе роста производственной деятельности

Период (кол-во лет)	Показатель увеличения объема производства					
	$k = 1,05$			$k = 1,1$		
	$Cd$	$Pb$	$Zn$	$Cd$	$Pb$	$Zn$
$T_1$	72	66	132	37	34	68
$T_2$	51	57	117	29	27	60

Вывод: из таблицы 3 видим, что даже в случае минимального темпа роста производственной деятельности человечества через 68 лет концентрация вредных для жизни веществ в литосфере горного Кавказа достигнет допустимого предела.

### Литература

1. Литвинов А. И. Приэльбрусье — «Окно» в экосистему Земли. Экологические проблемы // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2015. № 4 (8). С. 47—56.

2. *Литвинов А. И.* Роль климатических особенностей Кавказа в выявлении экологических проблем Земли // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2016. № 1 (9). С. 47—55.

3. Карта Приэльбрусья: с гостиницами и отелями // Приэльбрусье: горнолыжный курорт = Ski Resort [Электронный ресурс] / Гостиницы в Приэльбрусье и отели в Приэльбрусье. Сор. 2015. URL: <http://prielbrusie-ski.ru/map/> (дата обращения: 25.03.2016).

*Литвинов Александр Иванович* — кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики № 2 (ВМ-2) МИЭТ.

**E-mail: [tahalus@rambler.ru](mailto:tahalus@rambler.ru)**