

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В ВЫСОКОГОРНЫХ ЛАНДШАФТАХ КAVКАЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Т.М. Кудерина<sup>1</sup>

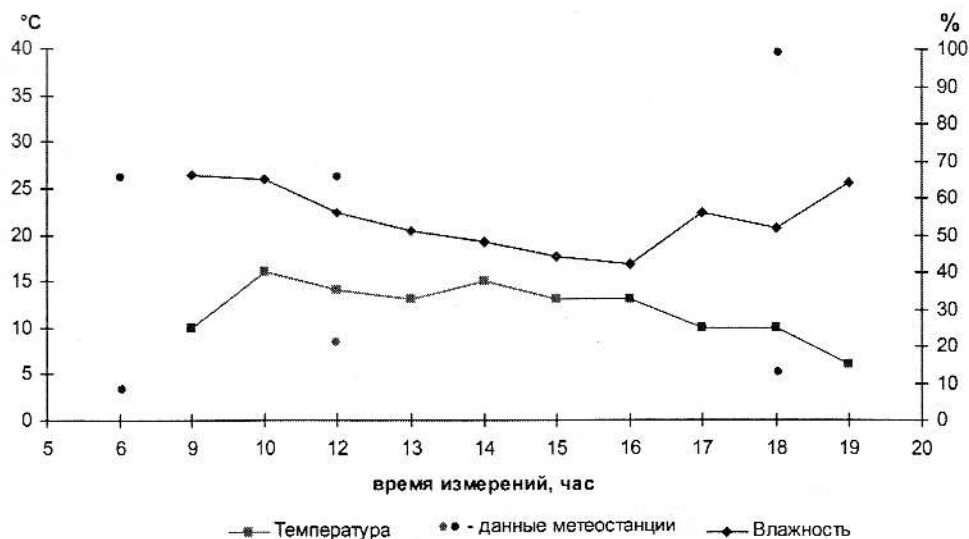
Кавказские горы, являясь субширотным барьером на пути воздушных масс, могут выступать как природный фильтр при проведении экспериментальных атмосфернохимических наблюдений. Кроме того, сюда поступают вещества и с западным переносом, что особенно актуально для территории Кавказского биосферного заповедника. В условиях высокогорья из-за преобладания кристаллических горных пород либо плотного покрова альпийской растительности влияние подстилающей поверхности на запыление и концентрацию взвесей в приземном слое атмосферы незначительно. Наши исследования на территории Кавказского биосферного заповедника включали изучение содержания и химического состава приземного аэрозоля в высокогорных ландшафтах, позволяющего, с одной стороны, охарактеризовать фон атмосферы, а, с другой, получить показатели трансграничного переноса вещества.

С этой целью были заложены экспериментальные площадки в фоновых ландшафтах в окрестностях метеостанции «Джуга», выше границы леса. Метеостанция «Джуга» (43°53,061' с.ш., 40°28,895' в.д., 2004 м над ур. моря) занимает исключительно важное географическое положение в высокогорьях западной части Главного Кавказского хребта. Приборные измерения тонкодисперсного аэрозоля проводились в рамках «Программы изучения трансграничного переноса тонкодисперсного аэрозоля в условиях изменения окружающей среды и климата».

Географические координаты и высота над уровнем моря точки наблюдений на г. Джуга – N 43°53,015', E 40°27,708', 2199 м. Измерения в августе 2009 г. носили рекогносцировочный характер. Отбор проб аэрозолей проводился по методике определения массового содержания микроэлементов в атмосферных аэрозолях фоновых ландшафтов на фильтры АФА-ХА-20 полевым аспирационным пробоотборником, созданным в аэрозольной лаборатории Научно-исследовательского физико-химического института им. Карпова. Одновременно измерялись текущие метеопараметры (Метеостанция GEOS и Thermochron DS1922L) – температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, облачность и др.

В период полевых исследований стояла теплая устойчивая погода с кратковременными осадками. Изменялись температура воздуха на высоте установки пробоотборника в 2 м над уровнем поверхности, влажность (рис.), направление ветра.

<sup>1</sup> *Институт географии РАН, Москва, Старомонетный пер., 29, tmkud@yandex.ru*



**Рисунок.** Изменение температуры и влажности воздуха в течение дня в точке наблюдений на г. Джуга по нашим данным и трехсрочным (6 час., 12 час. и 18 час.) данным метеостанции

Температура воздуха находилась в положительном диапазоне (среднесуточная  $T$  составила  $12^{\circ}\text{C}$ , максимальная –  $16^{\circ}\text{C}$ , минимальная –  $6^{\circ}\text{C}$ ). Ветер был южный, юго-западный с незначительными отклонениями за счет влияния горно-долинной циркуляции. Влажность воздуха в дневные часы составляла 42-66%. Кратковременный дождь (16.10-16.30) сопровождался западным ветром. Из рис. 1 видно, что данные метеостанции Джуга во время эксперимента заметно отличаются от полученных нами показателей, так как метеоплощадка расположена на границе леса, что ниже нашей точки наблюдения.

При указанных выше погодных условиях представилась возможность провести измерение фоновых концентраций аэрозоля на восточном склоне г. Джуга, где высокогорные ландшафты (высота 2000 м над ур. моря и более), располагаются выше пограничного слоя приземной атмосферы.

Концентрация микроэлементов в атмосфере изучаемого района определялась на основе измеренной массовой концентрации и химического анализа проб аэрозоля. Химический состав аэрозоля (65 химических элементов) определялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES). Результаты измерений приведены в таблице 1. Для сравнения компонентов геохимического ландшафта проведен пересчет полученных концентраций элементов в проценты.

Таблица 1  
Содержание элементов в аэрозоле воздуха на г. Джуга (%)  
и коэффициенты аэрозольной концентрации

Элемент	%	$K_{ак}$
Элементы глобального значения		
Al	3,66	0,45
Si	9,18	0,31
S	41,41	<b>881</b>
Li	0,01	<b>3</b>
Na	38,83	<b>16</b>
Mg	1,10	0,59
Ca	3,84	<b>1,3</b>
Ba	0,14	<b>2,1</b>
Элементы регионального и локального значения		
Pb	0,015	<b>9,1</b>
Cu	1,72	<b>365</b>
Cd	0,003	<b>230</b>
Hg	0,015	<b>180</b>
Hf	0,0045	<b>43</b>
Ta	0,0008	<b>3</b>
W	0,0078	<b>57</b>
Ce	0,007	<b>1</b>
Nd	0,001	0,25
Tm	0,001	<b>42</b>

Для ландшафтно-геохимического мониторинга рассчитаны коэффициенты аэрозольной концентрации (Волох, 1992), равные отношению содержания элемента в аэрозоле к содержанию в земной коре ( $K_{ак} = C_{аэрозоль} / \text{Кларк}$ ). В изучаемых ландшафтах кларки кристаллических подстилающих пород невелики.

Проведенные расчеты показали, что среди элементов глобального значения (Иванов, 1994) повышенные концентрации в приземном аэрозоле характерны для серы и натрия. Это объясняется влиянием Черного моря при юго-западной ветровой составляющей. Обогащение остальными элементами носит литогенный характер.

Среди элементов регионального значения выделяются тяжелые металлы: медь, кадмий и ртуть. Повышенные концентрации меди связаны с геохимическим фоном изучаемого района, а обогащение аэрозоля кадмием и ртутью происходит за счет антропогенного влияния. Определение вероятного источника загрязнения возможно на основе построения обратных траекторий воздушных масс, для чего требуются дополнительные исследования приземного аэрозоля с учетом высот и экспозиции точек наблюдения.

Помимо изучения атмосферного аэрозоля на территории Кавказского биосферного заповедника в 2009 г. нами были проведены комплексные ландшафтно-геохимические исследования. В таблице 2 представлены результаты геохимических исследований основных компонентов высокогорных ландшафтов Кавказского заповедника – озерная и речная вода, дождевые осадки и атмосферный аэрозоль, а также вода Черного моря. Коэффициенты концентрации в осадках, озерных и речных водах рассчитывались по отношению к среднему составу речных вод, морской воды – к среднему составу оксанов. Для аэрозоля использовался коэффициент аэрозольной концентрации. По полученным экспериментальным данным построена блоковая схема альпийского геохимического ландшафта Западного Кавказа с ассоциациями химических элементов.

Таблица 2

Интенсивность накопления химических элементов в компонентах элементарных геохимических ландшафтов альпийской зоны

Компонент ландшафта	Коэффициенты концентрации		
	100n	10n	n
Аэрозоль	S, Cu, Cd, Hg	W, Hf, Tm, Na,	Pb, Li, Ta, Ba, Ca, Ce
Атмосферные осадки	Sc	Be, Se, Au	Cs, W, Hg, V, Cr, Fe, Ni, As, Sn, Sm
Высокогорные озера	Sc	Be, Se, Au	Cs, Ba, W, Hg, U, V, Cr, Fe, Co, Ni, As, Sr, Sn, Sb, Sm
Реки малые	Sc	Be, Se, Au	Cs, W, Hg, U, V, Cr, Fe, Co, Ni, As, Sb, Sm
Морская вода	Sc, Ti, Fe	V, Cr, Co, Cu, As, Se, Nb, Sn	Be, Al, Zn, Ga, Ge, Y, Au, Hg, Pb, Zr, Sb

Из таблицы 2 видно, что химический состав атмосферных осадков и поверхностных вод достаточно близок. При этом состав атмосферного аэрозоля иной. Аэрозоль содержит нетипичные для высокогорных ландшафтов элементы, которые при высоких концентрациях могут быть токсичными.

На аэрозоль в приземном слое воздуха влияет и Черное море (S, Na, тяжелые металлы), и подверженные интенсивному выветриванию горные породы (Cu, Ca, Li). Ртуть присутствует во всех компонентах геохимического ландшафта. Повышенные концентрации свинца обнаружены в аэрозоле и в морской воде.

Таким образом, при проведении ландшафтно-геохимических исследо-

ваний в высокогорных ландшафтах Кавказского заповедника были получены первичные данные локальных фоновых концентраций химических элементов в аэрозоле приземной атмосферы, которые представляют интерес для изучения атмогеохимических процессов. Вклад атмосферной составляющей в горные ландшафты Западного Кавказа состоит в местном перераспределении элементов между элементарными ландшафтами и в привносе новых, которые не типичны для местных геологических пород. На Джуге в аэрозоле воздуха наблюдаются повышенные содержания S, Cu, Cd, Hg и некоторых местных элементов (W, Li, Ca). Концентрации элементов глобального значения (S, Na) в аэрозолях повышены в десятки раз. При западном переносе с морской акватории кларки концентрации характерны для таких элементов как Sc, Be, Se, Au, Cs, W, Hg, V, Cr, Fe, Ni, As.

Очевидно, что морская вода, обладающая относительно стабильным химическим составом, вносит существенный вклад в обогащение аэрозоля. Морские аэрозоли, генерируемые при ветровых сносах с поверхности моря, формируются, в основном, из поверхностного микрослоя. Содержание загрязняющих веществ в морском аэрозоле отражает интегральную загрязненность акватории. При этом контрастируются загрязняющие вещества, находящиеся в объемной воде в очень низких концентрациях (Твердислов, Моисеев, 2008.).

По нашим данным в твердой составляющей атмосферного блока выделяются элементы ближнего и дальнего переноса. Для атмогеохимической оценки требуются более длительные и детальные исследования химизма приземной атмосферы в комплексе с изучением всех компонентов ландшафтов. При комплексном подходе и сотрудничестве научных сотрудников смежных специальностей возможно определить направление переноса и потенциальные источники атмосферного перераспределения элементов. Эти данные необходимы для расчетов блоковых моделей геохимических ландшафтов, где выделяются типоморфные элементы во всех изученных компонентах ландшафта и можно оценить вклад атмосферного влияния на эти уязвимые горные экосистемы.

В этой связи представляется особенно актуальным продолжение работы и организация новых направлений деятельности в рамках экологического мониторинга биосферной метеорологической станции «Джуга». Наблюдения на этой метеостанции, единственной в районе высокогорья Западного Кавказа (более 2000 м над ур.м.), имеют локальное и региональное значение, они чрезвычайно важны и для международной сети метеостанций горных заповедников.

Организованная в 1986 г. с целью изучения динамики процессов и явлений природной среды, станция «Джуга» обладает 25-летним метеорядом наблюдений, имеющим огромную ценность для научных исследований в области изменения климата Земли, а также прогнозирования состояния экосистем и их изменений под влиянием антропогенной деятельности.

В настоящее время необходимо провести сертификацию метеостанции «Джуга», обновить приборную и инструментальную базу, улучшить методику

наблюдений и измерений. В работе биосферной метеостанции заинтересованы научные и учебные организации разного профиля, т.к. на ее территории возможны организация и проведение разноплановых стационарных и экспериментальных исследований. В ближайшее время наиболее перспективными в рамках экологического мониторинга могут стать следующие направления:

- моделирование горно-долинной циркуляции;
- изучение почвенного климата;
- оценка влияния климатических факторов на растительный покров;
- определение геохимии осадков с учетом высотной поясности;
- выявление источников загрязнения ландшафтов с учетом трансграничного переноса вещества;
- проведение метеорологических учебных практик с расширенными режимными исследованиями.

Данные многолетних наблюдений на высокогорной метеостанции «Джуга» позволяют сделать оптимальный выбор времени и места экспериментальных исследований приземного аэрозоля и других компонентов ландшафта. Геохимический мониторинг приземного аэрозоля отражает в фоновых условиях природное состояние изучаемых ландшафтов, а при кризисных ситуациях позволяет оценить техногенное влияние на окружающую среду (Глазовская, 2007).

Особый интерес представляют исследования атмогеохимических процессов для получения локальных фоновых концентраций химических элементов в аэрозоле приземной атмосферы. Они необходимы для последующей оценки аэрозольного антропогенного влияния на ландшафты для особо охраняемых природных (фоновых) территорий и для регионов плотного проживания и активной деятельности людей в РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

Волох А.А. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха территорий хозяйственного освоения. Автореф. диссертации на соискание уч. степени к.г.-м.н. Москва.1992.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 350 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: в 6 кн. М.: Нсдра. 1994.

Твердислов В.А., Моисеев А.И. Поверхностный микрослой океана как природный физико-химический и биотехнологический реактор. Тез. Докл. междунар. конф. «Физика атмосферы, климат и здоровье». Кисловодск, 2008. С.41-43.