

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ВЫСОКОГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ЛАНДШАФТНОЙ СТАНЦИИ ДЖУТА)

С.Ю.Береговая

Кавказский государственный биосферный заповедник
Госкомприроды СССР, Сочи

В исследовании состояния природной среды важное место занимает изучение процессов переноса и перераспределения вещества в природно-территориальных комплексах. В Кавказском государственном биосферном заповеднике начато проведение подобных исследований, поскольку в настоящее время основные изменения состояния экосистем в заповеднике могут быть связаны с изменением химического состава атмосферных осадков в результате техногенного воздействия. В связи с этим важную роль играет определение фонового состава атмосферных осадков, оценка количества веществ, поступающих с ними на поверхность земли.

Работа проводилась на комплексной ландшафтной станции Джуга Кавказского государственного заповедника. Станция расположена в северной части заповедника на массиве Джуга (Передовой хребет) на высоте 1250–2980 м над ур. м. Территория станции имеет площадь 64 км², больше половины площади занято альпийскими и субальпийскими лугами, остальное – пихтовые леса с небольшим включением сосны, березы, рябины, клена. Циф территории отличается значительной вертикальной расчлененностью, сформирован нивационно-криогенными, ледниковыми, гравитационными и эрозийными процессами на гранитах, диабазов, гнейсах, песчаниках верхнего палеозоя и нижней юры. Почвы района горно-луговые и бурые лесные. В пределах территории станции расположены водосборные бассейны рек Озерная, Черепсы и Бамбачка.

С апреля 1986 г. на станции ведутся непрерывные наблюдения за метеорологическими параметрами и еженедельный сбор атмосферных осадков для химического анализа. Площадка для сбора осадков находится на гребневой части склона на разнотравно-злаковом субальпийском лугу. С июля 1987 г. проводится регулярный еженедельный отбор проб осадков под кронами деревьев в разнотравно-овсяницево-пихтарнике. Сбор жидких осадков производили с помощью специальной установки в полиэтиленовые сосуды, сбор снега – в пластиковые коветы; снежного покрова, в виде колонок от поверхности до почвы – в пластиковые мешки /1/. В пробах определяли pH, содержание ионов кальция, магния, хлора, гидрокарбонатов, сульфатов, аммония, нитритов, нитратов, минерального фосфора. Анализ проводили по стандартным методикам /5, 6/.

Нами представлены результаты наблюдений за период с декабря 1986 г. по ноябрь 1987 г. Таким образом, полностью представ-

Т а б л и ц а 1

Средний состав атмосферных осадков, мг/л. Станция Джуга, декабрь 1986 г. - ноябрь 1987 г.

Месяц	Количество осадков, мм	pH	С о с т а в								
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₂ ⁻	N/NO ₃ ⁻	P минеральный
Декабрь	69,1	5,82	1,01	2,12	1,32	1,64	9,86	0,10	0,005	0,15	0,006
Январь	73,3	6,21	2,32	0,56	1,56	3,65	9,52	0,47	0,006	н.о.	0,025
Февраль	57,9	6,03	1,74	0,68	2,98	3,62	2,32	0,55	0,003	0,17	0,003
Март	39,7	5,89	0,96	0,51	1,09	1,06	3,05	0,23	0,002	0,07	0,009
Апрель	81,3	6,22	2,20	0,77	1,81	4,20	6,10	1,13	0,004	0,12	0,009
Май	127,7	6,31	3,01	0,70	1,25	5,13	6,88	0,70	0,004	0,28	0,024
Июнь	131,3	6,04	2,39	0,68	0,99	4,17	7,07	0,84	0,003	0,27	0,016
Июль	100,3	5,80	1,91	0,49	1,72	3,70	1,52	0,13	0,005	0,19	0,016
Август	122,2	5,87	0,63	0,47	0,70	1,11	3,65	0,48	0,002	0,07	0,006
Сентябрь	27,5	5,04	1,16	0,26	0,34	4,01	0,52	0,52	0,002	0,24	0,008
Октябрь	129,5	5,99	0,76	0,24	0,58	2,11	1,29	0,38	0,002	0,04	0,010
Ноябрь	79,2	5,86	1,49	0,60	0,43	2,17	2,38	0,26	0,002	0,22	0,007

Таблица 2

Химический состав снежного покрова на станции Джуга, мг/л (по данным 1987 г.)

Место отбора	pH	С о с т а в								
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₂ ⁻	N/NO ₃ ⁻	P мине- ральный
Луг	5,86	1,16	0,50	0,63	0,90	3,30	0,04	н.о.	н.о.	0,005
Пихтовый лес	6,37	2,36	0,89	1,21	3,30	5,03	0,35	0,030	0,02	0,016
Пойма р. Озерная	6,06	2,47	0,85	1,24	5,20	5,61	0,08	0,004	0,06	0,011
Пойма р. Челепсы	6,04	0,68	0,05	1,00	1,98	3,66	0,04	0,004	0,06	0,011

Таблица 3

Средний состав осадков под кронами пихт, мг/л. Станция Джуга, июль-ноябрь 1987 г.

Месяц	Количество осадков, мм	pH	С о с т а в								
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₂ ⁻	N/NO ₃ ⁻	P мине- ральный
Июль	67,2	5,50	2,02	0,79	2,59	3,91	3,35	0,50	0,088	0,31	0,052
Август	98,3	5,56	1,54	0,75	0,62	2,62	6,96	1,26	0,005	0,17	0,014
Сентябрь	11,9	5,18	-	-	-	-	-	0,86	0,012	0,37	-
Октябрь	58,6	5,47	1,72	0,66	1,07	5,44	2,68	0,28	0,007	0,18	0,022
Ноябрь	35,6	6,38	2,11	1,20	0,59	5,49	8,32	0,38	0,003	0,17	0,020

лены все сезоны года. Погодные условия 1987 г. характеризовались следующими параметрами: среднегодовая температура воздуха составила $2,7^{\circ}\text{C}$, минимальная температура наблюдалась в феврале $-17,2^{\circ}\text{C}$, максимальная - в августе $26,6^{\circ}\text{C}$, среднегодовая относительная влажность воздуха - 70%, годовое количество осадков 1039 мм, из них 58% выпало в теплый период. Результаты определения химического состава атмосферных осадков и снежного покрова представлены в таблицах 1-3. В них приведены средневзвешенные по количеству осадков месячные концентрации компонентов. Анализ полученных данных представлен нами по сезонам года.

Зимний период (декабрь-март) 1986-1987 гг. был снежный; наибольшее количество осадков выпало в январе (73,3 мм), в том же месяце отмечена максимальная высота снежного покрова (131 см). Осадки в виде снега имели значения рН от 5,82 до 6,21 (см. табл. 1), что несколько выше значения рН 5,60, указанного для чистых атмосферных осадков /3/. Концентрация сульфатов невелика - 1,06-3,65 мг/л, что характерно для фоновых районов СССР /2/. Содержание хлоридов 1,09-2,98 мг/л в среднем выше среднегодового значения 1,19 мг/л и выше пределов, указанных П.П.Воронковым /2/ для фоновых атмосферных вод воздушного океана территории СССР, что может быть связано с влиянием морских воздушных масс (зимой преобладали ветры южных направлений). Среднее содержание кальция 1,57 мг/л несколько ниже уровня среднегодового значения 1,71 мг/л, а содержание магния 1,03 мг/л выше, чем среднегодовое 0,66 мг/л, что также может быть обусловлено влиянием моря. Среднее содержание всех минеральных соединений азота и фосфора в зимнее время минимально. При среднегодовой концентрации суммарного минерального азота 0,66 мг/л средняя концентрация его зимой составляет 0,45, минерального фосфора соответственно 0,011 и 0,004 мг/л. Месячные влажные выпадения минерального азота и сульфатов были в зимний сезон наименьшими.

Зимой на территории станции держится устойчивый снежный покров, химический состав которого дает информацию о компонентах, выпадающих непосредственно с атмосферными осадками (влажное выпадение), и о пыли, выпадающей в период между осадками (сухое выпадение). Талые снеговые воды оказывают непосредственное влияние на формирование поверхностных и подземных вод, состояние почв, растительности и поэтому являются хорошим индикатором загрязнения природной среды. Для определения уровня загрязнения снежного покрова на территории станции был проведен отбор снега на снегомерном маршруте в марте, перед началом снеготаяния. Значения рН снежного покрова варьировали от 5,86 до 6,37 (см. табл. 2), что характерно для природного фона в отсутствие заметного антропогенного воздействия /1/. Содержание сульфатов колебалось от 0,90 до 5,20 мг/л, что соответствует уровню очень слабого загрязнения, обусловленного дальним переносом серы на

тысячи километров от промышленных зон. Интенсивность выпадения сульфатов 2 кг/км^2 в сутки также характерна для этого уровня. Средняя концентрация серы в снеге $0,95 \text{ мг/л}$ ниже таковой для Европейской территории СССР в целом — $2,00 \text{ мг/л}$ /1/. Содержание нитратов $0,0-0,37 \text{ мг/л}$ соответствует уровню фона для территорий, удаленных от промышленных зон на тысячи километров. Из минеральных соединений азота преобладает аммонийный, средняя концентрация которого $0,13 \text{ мг/л}$, более чем в 3 раза превышает концентрацию нитратного азота. При сопоставлении среднего состава снежного покрова и атмосферных осадков на зимний период можно отметить, что концентрация таких компонентов, как кальций, сульфаты, хлориды, минеральный фосфор близки между собой. Лишь содержание минерального азота в 2,5 раза меньше в снежном покрове. Сравнение химического состава снежного покрова, отобранного в различных пунктах снегомерного маршрута на станции Джуга, показало, что наиболее чистым является снег на лугу. Он отличается самыми низкими концентрациями сульфатов, хлоридов, фосфора, аммония, полным отсутствием нитритов и нитратов и самым низким содержанием примесей в целом. Пробы снега, отобранные в лесу и в пойме реки Озерной (зона леса), имеют наиболее высокое содержание всех компонентов (в 2-3 раза выше, чем на открытом месте), особенно это относится к сульфатам и биогенным элементам. По всей видимости, заметное влияние на химический состав снежного покрова оказывает как ветровое перераспределение снега, так и сама лесная растительность.

В весенний период (апрель-май) отмечено довольно большое количество осадков (20% годового) в виде дождя и снега. Устойчивый снежный покров держался до второй декады мая. Осадки, выпавшие весной, имели значения pH от 6,0 до 7,02. Средние концентрации сульфатов ($4,77 \text{ мг/л}$), кальция ($2,70 \text{ мг/л}$), минерального азота ($1,09 \text{ мг/л}$), фосфора ($0,018 \text{ мг/л}$) были наибольшими за весь год; то же можно сказать о влажных выпадениях этих компонентов.

Летний период (июнь-сентябрь) характеризовался довольно равномерным распределением осадков в июне-августе и минимальным месячным количеством осадков $27,5 \text{ мм}$ в сентябре. Химический состав осадков в летнее время отличался наибольшей пестротой. Средние значения pH изменялись от 5,04 до 6,90. Ежедневный контроль за показателем pH в осадках выявил, что значения pH в отдельные дни могут значительно отличаться от средних, например, второго и третьего августа выпадали осадки с кислыми значениями pH ($4,70$), в то время как среднедекадное составило $6,20$. То есть при месячном и декадном сборе осадков могут теряться экстремальные значения pH, оказывающие влияние на биоту. Среднее содержание сульфатов в осадках ($3,07 \text{ мг/л}$) соответствует фону, но отдельные дожди имели повышенное содержание (30 июля — $7,62 \text{ мг/л}$). Содержание хлоридов изменялось от очень малых

(0,34) до максимально высоких за год (3,39 мг/л) концентраций, но в среднем оставалось на уровне среднегодового значения 1,19 мг/л.

В июле 1987 г. на территории станции был установлен дополнительный метеопост для изучения фитолимата и трансформации химического состава атмосферных осадков кронами деревьев в пихтовом лесу – типичном фитоценозе заповедника. Анализ наблюдений показывает, что интерцепция осадков в пихтарнике в летние месяцы составила 30%. В осадках из-под кроны деревьев в большинстве случаев увеличивается их общая минерализация, повышается концентрация таких компонентов, как кальций, магний, сульфаты, гидрокарбонаты, хлориды в сравнении с осадками на лугу (см. табл. 3). Особенно заметно (в 2-3 раза) увеличивается содержание минерального азота и фосфора. Значительно выше и их суммарные месячные выпадения, несмотря на меньшее количество осадков. При сопоставлении состава осадков из-под кроны в летнее и осеннее время отмечено, что летом заметно выше содержание азота и фосфора. Средняя концентрация минерального азота летом составляет 1,18 мг/л, что в 2,5 раза выше, чем осенью (при этом преобладает аммонийная форма); фосфора соответственно 0,030 мг/л, что в 1,5 раза выше концентрации осенью.

В работе А.А.Колодяжной /4/ указывается, что в большинстве случаев деревья не только повышают минерализацию осадков, но и подкисляют их, увеличивая агрессивность. По нашим наблюдениям изменения значений pH осадков в пихтовом лесу по сравнению с открытым местом происходит неоднозначно. Например, в июле и августе наблюдалось некоторое подкисление осадков в лесу, а в сентябре – подщелачивание, что показывают как среднemesячные значения pH, так и среднесуточные: в июле величина pH осадков на лугу составила 5,44-6,34, в лесу – 5,34-5,69, в сентябре соответственно на лугу – 4,46-5,25, в лесу – 5,18-5,41. В то же время можно отметить, что смыв с пихтовой хвои, проведенный дистиллированной водой (не содержащий углекислого газа), имел постоянно слабокислую реакцию, а пятиминутный настой хвои – pH 4,40-4,70. По нашему мнению, подщелачивание осадков в лесу связано с влиянием пыли, собирающейся на поверхности хвои. Источником подщелачивающей пыли могут быть крупные известняковые массивы (Трю-Ятыргварта, Ачешбок), расположенные поблизости.

В осенний период (октябрь-ноябрь) выпало такое же количество осадков, как и весной – 209 мм. Осадки распределялись довольно неравномерно. В первые дни октября в виде сильного ливня выпала практически месячная норма осадков, с начала ноября осадки выпадали преимущественно в виде снега. В осеннее время атмосферные осадки имели значения pH 5,65-6,45. Существенное отличие осадков этого периода – минимальное содержание практически всех компонентов. В осадках под кронами пихт концентрация сульфатов в 2,6 раза, а фосфора в 2,3 раза выше, чем в осадках на лугу. Со-

Поступление минеральных веществ с атмосферными осадками в высокогорные ландшафты, кг/га.
Станция Джуга 1986-1987 гг.

Объект	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₃ ⁻	P мше- ральный
Луг декабрь-ноябрь	17,8	6,9	12,4	32,4	49,0	5,3	1,6	0,11
Луг июль-ноябрь	6,2	2,1	3,7	12,1	21,7	2,0	0,68	0,05
Лес июль-ноябрь	4,8	2,1	3,2	10,3	13,6	2,0	0,57	0,07

держание суммарного минерального азота меняется не столь значительно: средняя концентрация в лесу 0,51, на лугу - 0,44 мг/л. Преобладающей формой является азот аммония. Величина pH осадков, собранных под кронами пихт и на лугу различна, причем в октябре наблюдалось подкисление на 0,5 единиц pH, а в ноябре - подщелачивание на ту же величину. Интерпретация в пихтарнике в осеннее время составила 55%.

В годовом поступлении минеральных веществ с атмосферными осадками на поверхность земли преобладают гидрокарбонатные и сульфатные ионы (табл. 4). При этом годовое выпадение серы с осадками 10,8 кг/га несколько ниже среднегогодовой величины для горных районов юга Европейской территории СССР. В поступлении минеральных соединений азота в 3,3 раза превалирует аммонийный азот над нитратным, что характерно для фоновых районов. Поступление суммарного минерального азота за год (6,86 кг/га) несколько выше величин, приводимых для Европейской территории СССР в 60-е годы (в среднем 2,0-4,5 кг/га в год /7/).

При сопоставлении поступления минеральных веществ за один и тот же период (июль-ноябрь) на поверхность земли на лугу и в пихтовом лесу выявлены

следующие особенности: практически одинаково в том и другом случае поступление ионов магния и аммония; кронами пихт поглощаются ионы кальция, сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, нитратов; поступление минерального фосфора в лесу больше, чем на лугу. В целом можно отметить, что в лесу, так же, как и на лугу, в поступлении минеральных веществ на поверхность преобладают гидрокарбонаты, сульфаты и ионы кальция.

Обобщая результаты проведенных наблюдений, можно сделать ряд выводов.

Выводы

1. В период наблюдений 1986-1987 гг. в снежном покрове на станции Джуга среднее содержание сульфатов составило 2,85 мг/л, аммонийного азота - 0,13 мг/л, нитратного азота - 0,04 мг/л, pH - 6,08, что находится на уровне очень слабого загрязнения, обусловленного дальним переносом от промышленных зон и орографическими барьерами предгорий.

2. В атмосферных осадках среднемесячные значения pH изменялись в пределах 5,04-6,31 при среднегодовом значении 5,99. Среднегодовая концентрация сульфатов 3,12 мг/л находится в пределах, указанных для фоновых районов СССР.

3. В теплый период года (весна-лето) в атмосферных осадках отмечено наибольшее содержание практически всех компонентов, что связано с повышением содержания в воздухе пыли, источником которой является почвенно-растительный покров.

4. В осадках, собранных под кронами пихт, концентрация всех компонентов выше, чем в осадках на лугу, но на поверхность земли в пихтовом лесу поступает практически такое же или меньшее количество веществ, чем на лугу.

На основании вышесказанного можно заключить, что, независимо от особенностей сезонной циркуляции атмосферных масс, концентрации поступающих на поверхность земли в пределах станции Джуга минеральных веществ остаются практически на уровне фоновых. Это дает основание считать возможным проведение геохимического мониторинга природно-территориальных комплексов горной части Северо-западного Кавказа на территории станции Джуга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 182 с.

2. Воронков П.П. Формирование химического состава атмосферных вод и влияние его на почвенные растворы и склоновые воды// Тр. ПТИ. 1963, вып. 102. - С. 7-42.

3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - М.: Гидрометеиздат, 1984. - 560 с.

4. Колодяжная А.А. Агрессивность природных вод в карстовых районах Европейской части СССР. - М.: Наука, 1970. - 150 с.

5. Унифицированные методы анализа вод СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1978. - 144 с.

6. Унифицированные методы мониторинга фонового загрязнения природной среды//ред. Ф.Я.Ровинский. - М.: Гидрометеоздат, 1986. - 182 с.

7. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1964. - 209 с.