

УДК 550.42(470.55) + 504.3.054

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ПЫЛИ В СТЕПНОЙ И ГОРНОЛЕСНОЙ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОНАХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

*П.Г. Аминов, В.Н. Удачин*

Рассмотрены геохимические особенности атмосферного переноса в зимний период. Дана оценка пылевой нагрузки в контрастных ландшафтно-климатических зонах. В ходе проведения аналитических работ получены данные о микроэлементном составе снеговой воды и снеговой пыли, что дает возможность выявления аномальных концентраций элементов, характерных для данной территории.

Ключевые слова: атмосферный перенос, снеговая съемка, пылевая нагрузка, тяжелые металлы.

Одним из методов изучения миграции атмосферной пыли является проведение прямых замеров количества пыли, поступающей на единицу площади. Сюда входят замеры на постах мониторинга (с использованием аэропомп) и замеры разовых концентраций в точках (прокачка фиксированного количества воздуха в единицу времени) с применением передвижных установок. Эти методы требуют наличия специализированного оборудования и не всегда применимы для работы на площадках, удаленных от стационарных пунктов наблюдений. Поэтому, чаще всего, для изучения состава атмосферного аэрозоля поступающего на земную поверхность в течение зимнего периода, используют данные по анализу снегового покрова [1–13]. Оценка химического состава снегового инфильтрата и снеговой пыли позволяют выполнить количественные расчеты величин атмосферных выпадений как природного, так и техногенного характера [13–15]. Циклонические переносы воздушных масс вовлекают в миграцию вещества техногенной природы в пределах крупных городских агломераций и промышленных центров. Урал, как геоморфологическая область трансграничного переноса осадков в пределах Евразии, является регионом с высокой степенью концентрации промышленных предприятий, в первую очередь черной и цветной металлургии. Исследование геохимических особенностей атмосферной миграции микроэлементов в условиях регионального горнопромышленного техногенеза приобретает особое значение в связи с попыткой сопоставить полученные данные по составу индивидуальных фаз в атмосфере геотехнических систем, их элементного состава с составом атмосферной пыли территорий вдалеке от источников эмиссии.

Поэтому, в данной работе предпринята попытка получить обобщающие данные об уровнях и основных параметрах снеговой пыли и ее химизме на

«условно фоновых» участках, расположенных в двух контрастных ландшафтно-климатических зонах Южного Урала. Для этого проведен отбор проб снегового покрова в горнолесной зоне (на участке общей площадью около 50 км<sup>2</sup>) и в степной зоне (участок площадью 28 км<sup>2</sup>). Положение ключевых участков отображено на рис. 1.

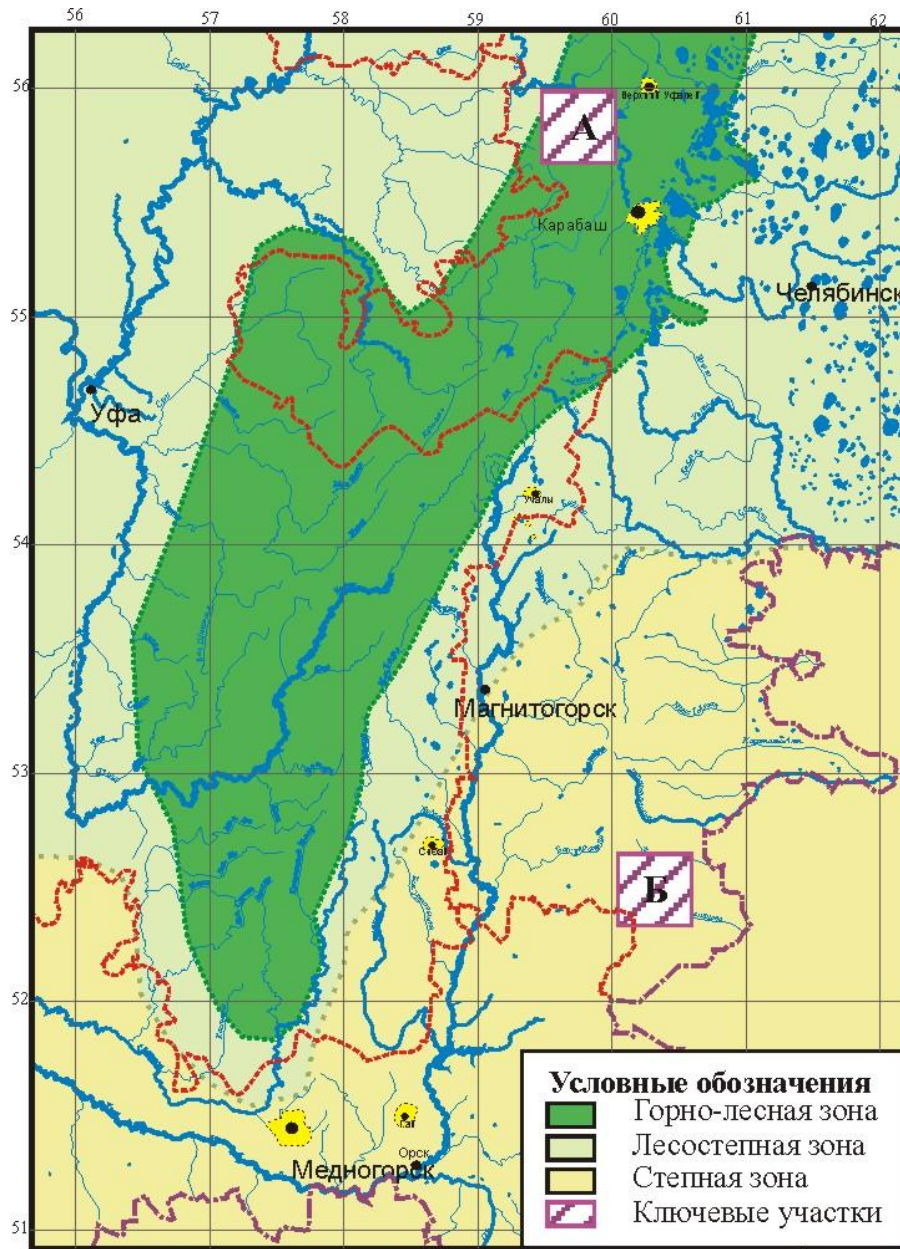


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков

При отборе снеговых проб проводили оценку рельефа местности, экспозиции склонов, выделяли наиболее информативный элементарный ландшафт. Фиксировали площадь отбора и глубину снежного покрова, с использованием пробоотборника, представляющего собой поливиниловый цилиндр диаметром 104 мм и высотой 1500 мм. Отобранные колонки в ко-

личестве от 4 до 6 штук, помещали в полиэтиленовые стерильные пакеты. Объем пробы снегового инфильтрата находился в диапазоне от 3 до 4 л, что было достаточным для получения того количества снеговой пыли, при котором навески пробы хватает для выполнения химических и рентгенофазовых анализов. Отбор проб выполнен в конце зимнего сезона за несколько дней до первых проявлений снеготаяния, что позволило учесть пылевое накопление за максимальный отрезок времени.

Отобранные пробы таяли в стационарной аналитической лаборатории при комнатной температуре в пластиковых контейнерах, после чего выполнялось измерение pH, Eh и других физико-химических показателей талой воды. Затем талую воду фильтровали через мембранные фильтры из ацетата целлюлозы с размером пор 0,45 мкм, а после высушивания фильтров с взвесью при комнатной температуре определяли массу снеговой пыли в каждой пробе. Далее исследовали микроэлементный состав, как полученной пыли, так и снегового инфильтрата.

При изучении аэральных выпадений путем исследования снегового покрова оценивают величину пылевой нагрузки. В экологической геохимии в качестве показателя интенсивности воздействия на природную среду обычно используется «общая нагрузка» – показатель близкий к модулю техногенного геохимического давления. Общая нагрузка при этом понимается как приток загрязняющего (аномального) вещества на единицу депонирующей поверхности (снегового покрова) за единицу времени. В случае проведения работ на Урале, при эколого-геохимическом картировании даже фоновых ключевых участков, эта нагрузка не только природного характера (региональный атмосферный перенос), но и, вероятно, техногенного (региональный перенос тонкодисперсного аэрозоля от горнопромышленных комплексов Урала [14]).

Величина пылевой нагрузки  $P_n$  рассчитывается исходя из формулы:

$$P_n = P_o / (S \cdot t), \quad [16, 17],$$

где  $P_n$  – пылевая нагрузка на снеговой покров кг/(км<sup>2</sup>·сут) или мг/(м<sup>2</sup>·сут);  $P_o$  – масса пыли в снеговой пробе, мг;  $S$  – площадь сечения пробоотборника, которым отбиралась проба, м<sup>2</sup>;  $t$  – время от начала снегостава до дня отбора пробы, сутки.

Зная химический состав снеговой пыли, можно оценить величину общей нагрузки на снеговой покров входящих в ее состав химических элементов или их соединений:

$$P_i = C_i \cdot P_n / 100 \quad [17],$$

где  $P_i$  – общая нагрузка (приток) химического элемента  $i$  на снеговой покров, кг/(км<sup>2</sup>·сут) или мг/(м<sup>2</sup>·сут);  $C_i$  – концентрация элемента  $i$  в снеговом покрове, %;  $P_n$  – пылевая нагрузка, кг/(км<sup>2</sup>·сут) или мг/(м<sup>2</sup>·сут).

Анализ анионно-катионного состава проб воды выполнен по стандартным методикам, принятым в гидрохимических исследованиях [13]. Анализ Ca, Mg проведен атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен – воздух на спектрофотометре Perkin Elmer 3110. Определение K и Na выполнено этим же методом в эмиссионном режиме. Определение микроэлементов в подкисленных фильтрованных пробах снегового инфильтрата, а также в растворах, полученных после кислотного вскрытия снеговой пыли на фильтрах, выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Perkin Elmer ELAN 9000.

Пылевая компонента, фиксируемая по результатам анализа взвеси на фильтрах и отнесенная к единице площади, обнаруживает незначительную вариабельность по значениям для территории горнолесного ключевого участка – на уровне  $4,3 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  (рис. 2).

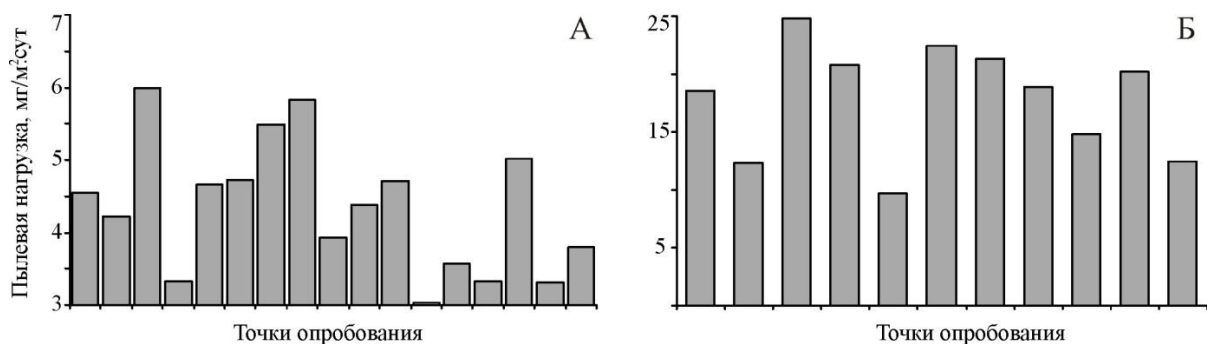


Рис. 2. Вариабельность величины пылевой нагрузки в точках опробования на ключевых участках: а) горнолесная зона; б) степная зона

Самые высокие уровни пылевой нагрузки, зафиксированные на участке, составили  $6 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , минимальные –  $3 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ . Для ключевого участка степной зоны значения пылевой нагрузки выше –  $9,7\text{--}24,8 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ . В целом, для территории ключевого участка горнолесной зоны разброс значений пылевой нагрузки незначителен, по сравнению со степной зоной. Это представляется закономерным вследствие особенностей геоморфологии и малой площади исследуемого района.

Абсолютную величину полученных значений пылевой нагрузки, а также среднего значения пылевой нагрузки для рассматриваемых ключевых участков, в частности, можно оценить, сопоставив их с таковыми для различных фоновых и урбанизированных территорий России. В Южном Прибайкалье с высоким фоном по выбросам промышленных предприятий Иркутска и Шелехова средняя величина пылевой нагрузки составляет  $227 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  (табл. 1).

Сходные значения отмечены для территории г. Реж, а для г. Горно-Алтайска эта величина в 2,5 раза выше. Низкие значения величин пылевой нагрузки зафиксированы в сельских местностях (поселки в Томской и

Свердловской областях) – 12–20 мг/(м<sup>2</sup> ·сут). То есть площади ключевых участков в настоящее время испытывают нагрузку аналогично территориям сельского типа удаленных от крупных городов и действующих горно-промышленных предприятий.

Таблица 1

Сравнительные данные по величине  
пылевой нагрузки различных территорий

Р <sub>п.</sub> пылевая нагрузка, мг/(м <sup>2</sup> ·сут)		Количество проб
Ключевой участок горнолесной зоны	$\frac{3-6}{4,3}$	17
Ключевой участок степной зоны	$\frac{9,7-25}{17,8}$	11
г. Томск «Академгородок» [10]	$\frac{20-40}{н.д.}$	6
п. Киреевск (Томская область) [10]	$\frac{н.д.}{12}$	3
Южное Прибайкалье [14]	$\frac{н.д.}{227,3}$	24
г. Ковров [18]	$\frac{1,8-65,9}{н.д.}$	н.д.
г. Москва (парк «Лосиный остров») [19]	$\frac{н.д.}{160}$	н.д.
с. Галанино (Свердловская область) [20]	$\frac{1,6-17,0}{9,2}$	9
Район г. Реж (Свердловская область) [20]	$\frac{12-578}{199,1}$	12

*минимальное – максимальное*

*среднее;*

*н.д. – нет данных.*

Трехкратное увеличение пылевой нагрузки на единицу площади в условиях Зауральской степи обусловлено специфическими процессами ветрового переметания снега и повышенной эрозионной активности обнаженных участков почвенного покрова равнинных безлесистых поверхностей в зимний период.

Расчет поэлементной нагрузки в точках опробования не обнаружил прямых корреляционных связей между модулями поступления отдельных элементов в расчете на единицу площади и величиной пылевой нагрузки.

Результаты по сельскому району в Свердловской области (пос. Галанино, табл. 2), где значения по Cu, Zn, As, Cd превышают таковые для других районов в несколько раз, могут быть обусловлены, среди прочего, аналитическими ошибками.

Таблица 2

Сравнительные данные по величине  
поэлементной нагрузки различных территорий

Элементная нагрузка, мкг/(м <sup>2</sup> ·сут)	Ключевой участок в горнолесной зоне	Ключевой участок в степной зоне	г. Томск «Академгородок» [10]	п. Киреевск, Томская обл. [10]	Южное Прибайкалье [14]	с. Галанино, Свердловская обл. [20]	г. Реж, Свердловская обл. [20]
Cr	$\frac{0,58^*}{0,4-0,81}$	$\frac{18,6^*}{6,4-29,3}$	2,8	1,9	0,26	0,36	0,81
Mn	$\frac{1,2}{0,82-1,68}$	$\frac{32,6}{10,2-52,2}$	н.д.	н.д.	0,18	13,6	н.д.
Co	$\frac{0,07}{0,05-0,1}$	$\frac{2,7}{0,9-4,2}$	0,7	0,3	0,004	н.д.	н.д.
Ni	$\frac{1,66}{1,14-2,4}$	$\frac{41,2}{13,7-65,3}$	н.д.	н.д.	0,13	2,2	2,0
Cu	$\frac{0,27}{0,18-0,42}$	$\frac{2,5}{1,0-3,9}$	н.д.	н.д.	0,13	3,3	н.д.
Zn	$\frac{0,73}{0,44-1,18}$	$\frac{2,37}{1,23-3,27}$	н.д.	н.д.	0,26	39,3	н.д.
As	$\frac{0,07}{0,05-0,1}$	$\frac{0,55}{0,28-0,78}$	0,01	0,005	0,02	1,5	0,08
Se	$\frac{0,02}{0,01-0,03}$	$\frac{0,08}{0,05-0,16}$	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Mo	$\frac{0,01}{0,01-0,02}$	$\frac{0,11}{0,06-0,17}$	н.д.	н.д.	0,013	н.д.	н.д.
Cd	$\frac{0,02}{0,01-0,03}$	$\frac{0,05}{0,02-0,07}$	н.д.	н.д.	н.д.	1,38	0,05
Pb	$\frac{0,56}{0,38-0,83}$	$\frac{2,76}{1,47-3,72}$	н.д.	н.д.	0,04	0,89	0,05

\*  $\frac{\text{среднее}}{\text{минимальное} - \text{максимальное}}$ ;  
н.д. – нет данных.

Сопоставляя полученные значения поэлементной нагрузки ключевого участка в горнолесной зоне с таковыми для других регионов, можно говорить об увеличении её для таких элементов как Pb, Zn и As. В целом, химический состав снеговой пыли содержит в себе информацию о составе почв и почвообразующих пород рассматриваемого участка. Содержания трех литофильных элементов Li, Rb, Cs соответствуют обычным концентрациям этих элементов в снеговой пыли Южно-Уральского субрегиона биосферы. Несколько повышенные концентрации были отмечены для Pb. Содержания Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Nb, Mo, Cd, Sb, Te, Ba,

группы РЗЭ, W, Bi находятся на уровне типичных концентраций, свойственных снеговой пыли различных районов Урала.

Дополнительно, сопоставляя полученные значения поэлементной нагрузки ключевого участка в степной зоне с неопубликованными данными по поэлементной нагрузке в отдельных точках степной зоны, можно говорить о типичной нагрузке для Cu, Zn, As, Se, Mo и Cd и о повышенной нагрузке таких элементов как Cr, Mn, Co, Ni и Pb. Химический состав снеговой пыли также характеризует в большей степени состав почв и почвообразующих пород рассматриваемого участка. Содержания микроэлементов и РЗЭ, так же как и в пробах с участка в горнолесной зоне соответствуют обычным концентрациям для снеговой пыли Южно-Уральского субрегиона биосферы. Несколько повышенные концентрации были отмечены для Cr, Co, Ni и Pb.

*Исследования выполнены в рамках выполнения Госзадания и программы поддержки научных исследований ЮУрГУ.*

#### Библиографический список

1. Capodaglio, G. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne Valleys, French Alps: initial results / G. Capodaglio, C. Boutron // Atmospheric Environment. – 2001. – V. 35. – Pp. 415–425.
2. Атмосферные выпадения в северо-восточных районах Эстонии и на западе Ленинградской области (по данным о загрязнении снежного покрова) / Э.Я. Яхнин, Н.И. Гольцова, О.В. Томилина и др. // Экологическая химия. – 2002. – Т. 11. – № 3. – С. 145–156.
3. Яхнин, Э.Я. Сравнительный анализ данных о составе атмосферных осадков и снежного покрова на территории Ленинградской области и юго-восточной Финляндии и уточнение параметров атмосферного выпадения тяжелых металлов / Э.Я. Яхнин, О.В. Томилина, В.А. Чекушин, Р. Салминен // Экологическая химия. – 2003. – Т. 12. – № 1. – С. 1–12.
4. Garbarino, J.R. Contaminants in arctic snow collected over northwest Alaskan sea ice / J.R. Garbarino, E.S. Conn, T.J. Leiker, G.L. Hoffman // Water Air Soil Pollution. – 2002. – V. 139. – Pp. 183–214.
5. Казанцев, В.А. Анализ состава снега как метод изучения аэрозолей / В.А. Казанцев, Л.А. Магаева // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – № 5–6. – С. 557–559.
6. Атмосферные выпадения в Прихубсугулье и на юге Восточного Саяна / Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, В.А. Стальмакова и др. // География и природные ресурсы. – 2004. – № 3. – С. 69–75.
7. Оболкин, В.А. Элементный состав нерастворимой фракции зимних атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья / В.А. Оболкин, Н.А. Кобелева, Т.В. Ходжер, С.Ю. Колмогоров // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – № 5–6. – С. 414–417.

8. Douglas, T.A. Arctic haze, mercury and the chemical composition of snow across northwestern Alaska / T.A. Douglas, M. Sturm // *Atmospheric Environment*. – 2004. – V. 38. – P. 805–820.

9. Павлов, В.Е. Элементный состав аэрозоля, накапливаемого в снеговом покрове Алтайского края / В.Е. Павлов, И.А. Суторихин, И.В. Хвостов, Г.С. Зинченко // *Оптика атмосферы и океана*. – 2006. – № 6. – С. 513–517.

10. Таловская, А.В. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, М.В. Панченко, В.С. Козлов // *Оптика атмосферы и океана*. – 2007. – № 6. – С. 517–522.

11. Engelhard, C. Environmental impacts of urban snow management – The alpine case study of Innsbruck / C. Engelhard, S.D. Toffol, I. Lek, W. Rauch, R. Dallinger // *Science Total Environment*. – 2007. – V. 382. – Pp. 286–294.

12. Bacardit, M. Atmospherically deposited major and trace elements in the winter snowpack along a gradient of altitude in the Central Pyrenees: The seasonal record of long-range fluxes over SW Europe / M. Bacardit, L. Camarero // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44. – Pp. 582–595.

13. Удачин, В.Н. Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала / В.Н. Удачин, П.Г. Аминов, К.А. Филиппова. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 252 с.

14. Исследование загрязнения снегового покрова как депонирующей среды (Южное Прибайкалье) / Г.П. Королева, А.Г. Горшков, Т.П. Виноградова и др. // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 1998. – № 6. – С. 327–337.

15. Химический состав атмосферных осадков Южного Урала / В.Н. Удачин, М. Джейджи, П.Г. Аминов и др. // *Естественные и технические науки*. – 2010. – № 6. – С. 304–311.

16. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

17. Летувнинкас, А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие / А.И. Летувнинкас. – 2-е изд. – Томск: НТЛ, 2005. – 290 с.

18. Шварева, И.С. Изучение влияния газопылевых выбросов машиностроительного предприятия на загрязнение окружающей среды методом индикации снежного покрова / И.С. Шварева, С.М. Ващенко, А.О. Кочетова, Д.А. Кудряков // *Материалы II Международной научно-практической конференции «Наука и образование»*. – Белгород, 2006. – С. 81–86.

19. Маркова, Ю.Л. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка «Лосиный остров»: дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Ю.Л. Маркова. – М., 2003. – 158 с.

20. Волков, С.Н. Город Реж и его окрестности: природа, техника, человек / С.Н. Волков, Э.Ф. Емлин, О.Г. Кецко. – Екатеринбург, 1992. – 149 с.

[К содержанию](#)