

## Выявление химических элементов-загрязнителей и их первичное распределение на территории степей юга Минусинской котловины

Н. Д. ДАВЫДОВА, Т. И. ЗНАМЕНСКАЯ, Д. А. ЛОПАТКИН

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
E-mail: davydova@irigs.irk.ru*

### АННОТАЦИЯ

Изучен химический состав твердой и жидкой фаз проб снега, отобранных на разном удалении от источника эмиссий, определены приоритетные элементы-загрязнители геосистем при производстве алюминия и ореолы их рассеяния в пространстве, рассчитаны суммарный индекс загрязнения и нагрузки поллютантов. На основе количественных показателей применительно к ПДК выделены зоны эколого-геохимического риска. Проведен сравнительный анализ уровней содержания выделенной ассоциации элементов в техногенных аэрозолях зоны наибольшего риска и почвах фона.

**Ключевые слова:** снежный покров, загрязнение, поллютанты, ореолы рассеяния, техногенные нагрузки, экологический риск.

Во второй половине прошлого столетия стали активно обсуждаться на международном уровне проблемы, касающиеся безопасности существования человека на Земле. Были обозначены глобальные угрозы, связанные с такими проблемами, как перенаселение планеты и загрязнение природной среды (модель “Пределы роста” Форрестера – Медоуза), истощаемость ресурсов, деградация биосферы, глобальное потепление. Следует отметить, что большинство глобальных прогнозов, вышедших до второй половины 60-х гг., не учитывали в числе важнейших проблем защиту окружающей среды от загрязнения и рациональное использование природных ресурсов, хотя это было очевидно [1]. Однако назревшие проблемы давали о себе знать, и во второй половине 60-х гг. о них заговорили все: философы, политики, экономисты, промышленники, общественные деятели, ученые разных специальностей и направлений.

Одной из причин возможного изменения глобального геохимического фона, связанного с загрязнением, служат эмиссии многочисленных точечных источников, размещенных на земной поверхности. Поэтому регулирование или предупреждение неумеренных выбросов в атмосферу на локальном уровне является инструментом управления техногенным процессом загрязнения геосферы на более высоких уровнях по законам единичного и общего, перехода количества в качество.

Особую опасность потоки поллютантов представляют вблизи источников эмиссий, где загрязнение компонентов природной среды (в десятки и сотни раз выше фона) прослеживается далеко за пределами санитарных зон. Термин “загрязнение среды” в литературе применяется в широком смысле его значения. Под загрязнением обычно понимают продукты техногенеза, оказывающие вредное воздействие на человека, биологи-

ческие компоненты, технические сооружения, памятники культуры и др. Отнесение той или иной геосистемы к категории “загрязненной” М. А. Глазовская [2] предлагает проводить на основании положения Вернадского о ведущей геохимической роли живого вещества в биосфере. Главными критериями оценки должны быть состояние и функционирование присущих данной системе живых организмов. Незагрязненной считается природная система, пределы колебаний концентраций техногенных веществ в которой, а также формы их нахождения не должны нарушать газовые, концентрационные и окислительно-восстановительные функции живого вещества; биохимический состав первичной и вторичной продукции, а также не понижать биологическую продуктивность системы и сохранять необходимый для ее существования генофонд. С другой стороны, токсичным считается такой уровень, например, тяжелых металлов в почве, который снижает рост и изменяет морфологию растений или уменьшает их урожайность на 10 % и более [3].

Со временем в сознании людей все прочнее укореняется мысль, что лучше предотвратить загрязнение, чем бороться с его последствиями. В результате общих усилий в настоящее время все хозяйственные проекты обязаны учитывать требования по охране природы, проходить стадию оценки воздействия на окружающую среду и общественные слушания. Однако постепенно ажиотажный интерес к факту загрязнения природной среды снизился, но проблема, несмотря на предпринятые усилия по ограничению выбросов, сохраняется и будет существовать еще долгие годы. Это связано как с несовершенством технологий производства промышленных товаров, так и со способностью загрязняющих веществ накапливаться в компонентах природной среды, в результате чего их влияние растянуто во времени. Длительность опасного периода зависит от уровня содержания химических веществ в объектах природной среды, их состава и формы нахождения, а также физико-географических условий и структуры ландшафтов, в которые они приносятся.

На территориях, подверженных техногенному воздействию, важным условием ус-

пешного управления качеством природной среды являются определение приоритетных элементов-загрязнителей и идентификация источников эмиссий, познание процессов миграции и дифференциации веществ, привнесенных в природные системы, выявление закономерностей формирования геохимических аномалий, оценка степени экологического риска. Получение критериев пространственной оценки техногенных нагрузок и состояния компонентов природной среды в зонах влияния пылегазовых эмиссий необходимо для построения прогнозных моделей развития геосистем в новых условиях, разработки природоохранных мероприятий и реабилитации нарушенных систем.

#### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ**

Изучение потоков загрязняющих веществ с выявлением процессов миграции и аккумуляции химических элементов в компонентах степных геосистем ведется в зоне воздействия эмиссий Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов. Предприятия расположены в междуречье Абакана и Енисея в южной части Минусинской котловины (Койбальская степь), на второй надпойменной террасе левого берега р. Енисей, в 15 км к северу от подножия гор Западного Саяна. Первичное распределение потока поллютантов на территории и их вторичное перераспределение в геосистемах зависят прежде всего от климата и рельефа.

Климат территории резко континентальный с холодной малоснежной зимой и умеренно теплым и засушливым летом. Характерной его особенностью вследствие распространения сибирского антициклона является развитие области повышенного давления, что обуславливает большую повторяемость малооблачных со слабыми ветрами погод и частые случаи приземной инверсии температуры [4]. Количество атмосферных осадков варьирует от 350 до 400 мм в год. Максимальная их величина приходится на летние месяцы – 50–60 % годовой суммы, на зимние – 20–30 % [5]. Мощность снежного покрова 10–20 см. Снег лежит 5–6 мес. (со второй половины октября до начала марта или апреля).

Длительность его залегания в среднем 126 дней [6].

Особенность положения южной части Койбальской степи у подножия Западного Саяна и близость долины Енисея создают весьма контрастные микроклиматические зоны по температуре, направлению и скорости ветра, что способствует рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере. В районе расположения предприятий рассматриваемого промышленного узла преобладают в первую очередь юго-западные (до 51 %) и западные ветра (до 18 %). Повторяемость ветров северо-восточного направления составляет до 17 %, восточного и южного – 3–5 %. Режим ветра в слое от поверхности земли до высоты 500 м характеризуется преобладанием юго-западного переноса с переходом в вышележащих слоях на западный [7].

Рельеф Абакано-Енисейского междуречья в пределах исследуемой территории представляет чередование низких аллювиальных равнин с увалистыми и грядовыми денудационными повышениями, амплитуда высот которых не превышает 200 м, а абсолютные отметки – 400–500 м [8]. В плейстоцене под влиянием тектонических поднятий русло Енисея сместилось к востоку. В результате Абакано-Енисейское междуречье в средней части представлено древней долиной Енисея и заполнено песчано-галечниковыми отложениями высокой степени фильтрации, что в значительной степени определяет способность почв и грунтов к самоочищению.

Увалистая поверхность не представляет серьезной преграды для дальности распространения пылегазовых эмиссий вследствие высокого техногенного пресса и отсутствия древесной растительности, но заметно влияет на первичное распределение поллютантов в геосистемах. Повышенная масса аэрозольных выпадений отмечается на наветренных склонах и вершинах. В ветровой тени, как правило, их количество снижено.

Возможность использования снежного покрова для оценки загрязнения природной среды давно привлекала внимание исследователей. Показано, что снег может служить индикатором атмосферного загрязнения сульфатами, нитратами, аммонием, основания-

ми, тяжелыми металлами, полициклическими ароматическими углеводородами, пестицидами, радиоактивными элементами и многими другими веществами, в том числе газообразными [9]. Более того, снежный покров может быть использован не только для установления уровней загрязнения, но и для решения более сложных задач – определения вещественного состава и техногенных нагрузок, мощности выбросов, доли вещества, увлекаемого в дальний и локальный перенос [10].

С целью оценки потока техногенных веществ, поступающих на поверхность почвы от алюминиевых заводов, определения их химического состава и дальности распространения на исследуемой территории с 2004 г. осуществляется мониторинг загрязнения снежного покрова по радиально-лучевой системе от источника эмиссий с отражением индикативных количественных показателей на картосхемах. Отбор проб снега проводили на всю глубину снежного пласта с определенной учетной площади пластиковым цилиндром или совком в полиэтиленовые пакеты. Частота отбора проб уменьшалась по мере удаления от заводов, которое составляло 30–40 км. При этом учитывали ландшафтные особенности территории: рельеф, степень залесенности, нарушение травяного и почвенного покровов в результате сельскохозяйственного использования, направление преобладающих воздушных потоков массопереноса от источников эмиссий. Для расчета общего количества веществ или отдельных химических элементов, поступающих в природную среду через атмосферу за зимний период, использовали влагозапас в снеге с площади пробоотбора и количество вещества в 1  $\text{дм}^3$  снеговой воды по формуле:

$$Q = \frac{CV}{S},$$

где  $Q$  – поступление веществ за зимний период,  $\text{мг}/\text{м}^2$ ,  $C$  – содержание веществ в снеговой воде,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $V$  – объем снеговой воды с площади отбора снега,  $\text{дм}^3$ ,  $S$  – площадь отбора,  $\text{м}^2$ .

Количественный химический анализ состава почв, твердых аэрозолей (взвесей) и сне-

говой воды выполнен в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. Пробы почв и взвесей анализировали на содержание 20 элементов – Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P, F, Sr, Ba, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, V. Применяли спектрометры: атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой Optima 2000 DV [11] и атомно-абсорбционный с прямой электротермической атомизацией проб Analyst 400 фирмы Perkin Elmer. Подготовку проб к анализу проводили двумя способами:

- сплавлением навески почвы с метаболатом лития 1:5 при температуре 850 °С и последующим растворением в 5 % HNO<sub>3</sub> с помощью магнитной мешалки,

- кислотное разложение (смесью HNO<sub>3</sub> + HCl + HF) проб почвы в микроволновой печи MULTIWAVE 3000 фирмы Anton Paar с последующей нейтрализацией раствора H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.

Содержание указанных выше макро- и микроэлементов в снеговой воде и водных вытяжках из почв также определяли на спектрометрах с применением соответствующих методик [12, 13]. Содержание фтора выявляли с помощью фторселективного электрода на иономере И – 120.1 [14]. Определение общей минерализации и анионного состава водных растворов проводили по общепринятым методикам [15] с использованием “Системы капиллярного электрофореза G 1600” фирмы Agilent Technologies.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что масса плохо растворимых и растворимых веществ, а также массовая доля химических элементов жидкой фазы и твердых примесей снеговой воды образцов, отобранных на разном расстоянии от источника пылегазовых эмиссий, хорошо отражает специфику и ореол техногенного загрязнения территории. С увеличением расстояния от источника эмиссий техногенные нагрузки резко убывают. В большей степени это касается плохо растворимых форм веществ. На расстоянии 1 км от заводов их масса сокращается в 5 раз, через 10 км – в 10 раз,

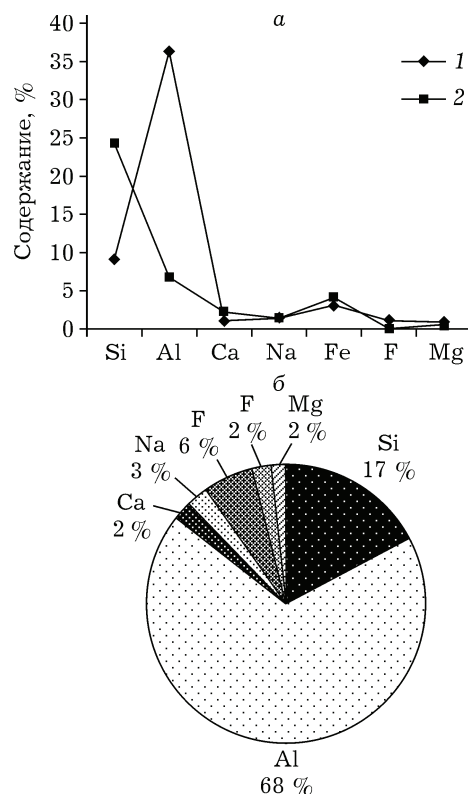


Рис. 1. Содержание макроэлементов в твердых аэрозолях: а – по сравнению с почвами фона (1 – аэрозоли, 2 – почвы фона), б – долевое участие макроэлементов в составе аэрозолей

на удалении 20–30 км нагрузки приближаются к фоновому значению. Следует отметить, что указанная закономерность проявляется на фоне значительного варьирования количественных показателей вследствие наличия других источников поставки плохо растворимого вещества: автотранспорта, печного отопления, не закрытой стерней пашни, отвалов вскрышной породы, транспортировки угля. В общем нагрузки твердых аэрозолей в ореоле загрязнения меняются в пересчете на год от 1–2 т/км<sup>2</sup> на периферии до 100–150 вблизи источника пылегазовых эмиссий.

Из пылегазового потока в природные системы поллютанты поступают в растворимой и плохо растворимой формах. Это в значительной мере предопределяет загрязнение компонентов геосистем. В отличие от почв фона, имеющих кремниевую основу, плохо растворимые аэрозоли состоят преимущественно из соединений алюминия (рис. 1, а).

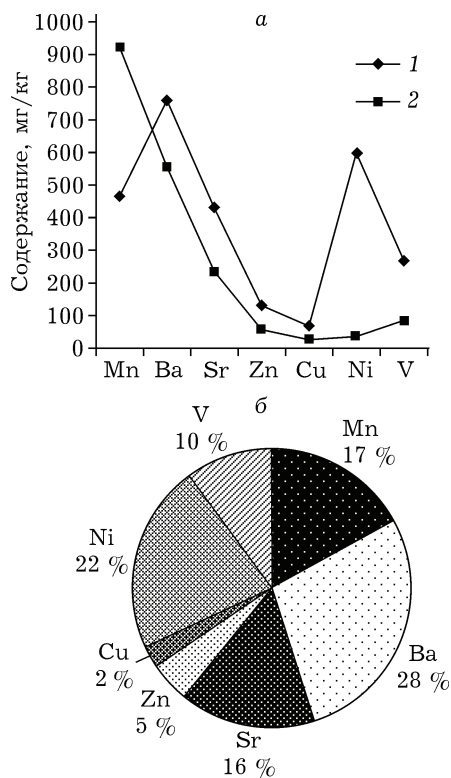


Рис. 2. Содержание микроэлементов в твердых аэрозолях: а – по сравнению с почвами фона (1 – аэрозоли, 2 – почвы фона), б – долевое участие микроэлементов в составе аэрозолей

Кремний составляет не более 10%. Повышенное содержание характерно для фтора (1,1%). Долевое участие макроэлементов в потоке плохо растворимого вещества представлено на рис. 1, б, где на долю алюминия приходится 68%. Участие фтора составляет всего 2%. Тем не менее уровень его содержания в 27 раз выше, чем в почвах фона, и в некоторых случаях его можно отнести к рангу макроэлементов. Следовательно, в условиях многолетнего воздействия эмиссий почвы обогащаются алюминием и фтором и обедняются кремнием. Относительно остальных поллютантов почвы и аэрозоли имеют близкое сходство.

По уровням накопления микроэлементов аэрозоли отличаются от почв большим разнообразием (рис. 2, а, б). В данном случае содержание никеля в аэрозолях по сравнению с почвами выше в 17 раз, ванадия в 3, меди и цинка в 2 и в 2,5 раза соответственно. Несмотря на относительно высокое долевое участие марганца, бария и стронция в твер-

дых выбросах, они не являются загрязнителями, так как мало отличаются по уровням содержания их в почвах.

Сравнительный анализ массовой доли химических элементов в твердых аэрозолях и в почвах фона показал повышенное количество в аэрозолях шести элементов –  $F_{27,5}$ ,  $Ni_{17,6}$ ,  $Al_{5,1}$ ,  $V_{3,5}$ ,  $Zn_{2,5}$ ,  $Cu_{2,0}$ . Для них рассчитали потенциальный индекс суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) снега и почвы по Сауту [16]:

$$Z_c = \sum_{j=1}^n Kk - (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный индекс загрязнения ( $Z_{c_s}$  – снега,  $Z_{c_p}$  – почвы);  $Kk$  – коэффициент техногенной концентрации элемента по сравнению с фоном;  $n$  – число химических элементов.

Рассчитанный уровень загрязнения почв  $Z_{c_p} = 53$  у. е. (условным единицам) оценивается, согласно [17], как высокий и опасный. При этом элементы с превышением над фоновым содержанием до 1,5 раза и ниже, согласно общим правилам, в расчет не принимались. Реальное загрязнение почв будет зависеть главным образом от величины техногенной нагрузки, места, занимаемого в системе каскадных ландшафтно-геохимических систем, и их самоочищающей способности.

С удалением от заводов количество растворимых веществ в снеговой воде постепенно снижается. В отличие от твердого плохо растворимого вещества, состав которого мало меняется с расстоянием от источника эмиссий, водорастворимое вещество значительно активнее реагирует на присутствие не только эмиссий главного источника загрязнения, но и любого другого. Так, фтор, алюминий и натрий хорошо индицируют загрязнение выбросами алюминиевых заводов, а щелочноземельные элементы и ванадий – тепловых источников, свинец – автотранспорта. Привнесенный с пылегазовыми потоками растворимый фтор, судя по его высокому содержанию в снеговой воде, как и плохо растворимый, можно причислить к макроэлементам, таким как натрий, кальций, магний (табл. 1), имеющим относительно высокие природные кларки в земной коре и гидросфере.

Растворимое вещество выбросов алюминиевых заводов по своей массе меньше твер-

Таблица 1

Содержание растворимых в снеговой воде химических элементов на расстоянии от 1 до 17–20 км от алюминиевых заводов по сравнению с ПДК

Показатель	Химический элемент, мг/дм <sup>3</sup>							
	F	Na	Al	Ca	Mg	K	Si	Fe
1	17–0,3	8,3–0,2	6,1–0,1	3,0–1,5	0,6–0,3	0,6–0,2	0,2–0,1	0,02–0,01
2	0,75	120	0,04	180	40	50	10	0,1

Показатель	Химический элемент, мкг/дм <sup>3</sup>							
	Mn	Ba	Sr	Zn	Cu	Ni	V	Pb
1	26–2	28–3	43–4	15–1	2–1	7–1	8–3	7–1
2	10	740	40	10	10	10	1	6

Примечание. 1 – содержание элемента в ореоле загрязнения; 2 – ПДК.

дого нерастворимого вещества, но гораздо активнее последнего по воздействию на природную среду. В его составе доля фтора по сравнению с другими элементами может достигать 40–50 %, натрия – 20–25, алюминия – 18–24, кальция – до 10, магния и калия до 2 % (рис. 3, а). Как видно из рисунка, в качестве приоритетных загрязнителей вновь выделяется триада химических элементов – F<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>. В зоне распространения пылегазовых эмиссий на расстояние более 20 км содержание фтора и алюминия существенно превышает ПДК для воды объектов (см. табл. 1) рыбохозяйственного значения [18].

Кроме макроэлементов в снеговой воде присутствуют микроэлементы (рис. 3, б), среди которых на долю стронция приходится до 36 %, марганца и бария – более 20, вана-

дия – до 8 и цинка – до 13 %. При этом содержание ванадия превышает ПДК на расстоянии более 20 км, цинка – до 10, марганца – до 15 км (см. табл. 1). В жидкой фазе снега вблизи завода по отношению к фону снеговой воды выделяется многочисленная ассоциация поллютантов, состоящая из 11 элементов: F<sub>418</sub>, Al<sub>48</sub>, Na<sub>14</sub>, Ca<sub>13</sub>, Mg<sub>11</sub>, Si<sub>6</sub>, K<sub>5</sub>, Sr<sub>5</sub>, Ba<sub>4</sub>, Fe<sub>4</sub>, Zn<sub>2</sub>. Индекс загрязнения снежного покрова очень высокий и чрезвычайно опасный – 520 у. е.

На основе многолетних исследований составлены картосхемы распределения растворимых приоритетных загрязнителей (F, Na, Al) в снежном покрове исследуемой территории. Наибольшее внимание привлекает фтор как элемент 1-го класса опасности для почв и 2-го класса – для воды и атмосферы.

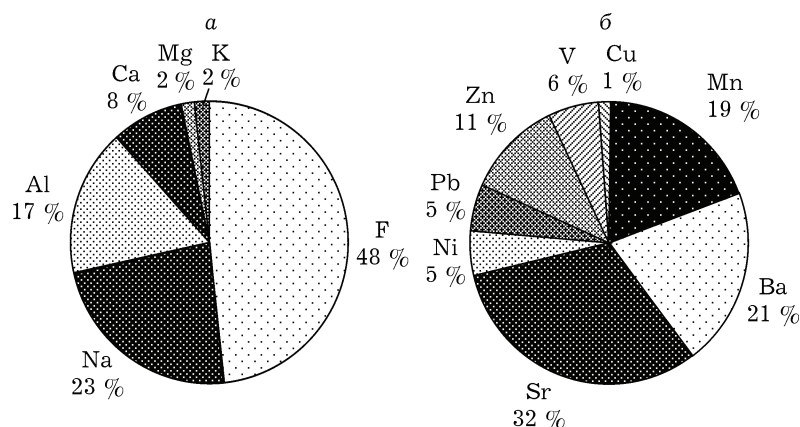


Рис. 3. Долевое участие химических элементов в составе снеговой воды: а – макроэлементы, б – микроэлементы

Содержание фтора в снеговой воде и почвенных растворах территории, прилегающей к алюминиевым заводам Хакасии

Расстояние от источника эмиссий, км, вектор		Содержание фтора в снеговой воде, мг/дм <sup>3</sup>	Содержание фтора в почвенных растворах в весенний период, мг/кг	Уровень загрязнения
З, ЮЗ	В, ЮВ			
1	2	30–20	300–100	Высокий
4	5	20–10	100–50	
7	10	10–5	5–25	Средний
12	17	5–2	25–10	
17	25	2–1	10–50	Умеренный
25	30	1–0,5	5–2,5	Низкий

Индекс его аномальности в снеговой воде может превышать 400 у. е. Площадь, подверженная загрязнению фторидами, составляет в общей сложности около 200 тыс. га, где наименьшее содержание фтора в снеге соответствует 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, что в 10 раз превышает уровень фона (табл. 2). Полученные результаты позволяют провести с использованием ПДК предварительное зонирование территории

(рис. 4) способом приведения концентраций фтора в снеговой воде (см. табл. 2) к его концентрации в почве (1 : 5), зная, что весной снеговая вода насыщает верхний слой и качественно превращается в почвенный раствор, в котором концентрация иона фтора остается неизменной [19, 20]. Для этого достаточно содержание фтора в снеговой воде увеличить в 5 раз ( $F^-, \text{ мг/кг} = F^-, \text{ мг/дм}^3 \times 5$ ). Следует

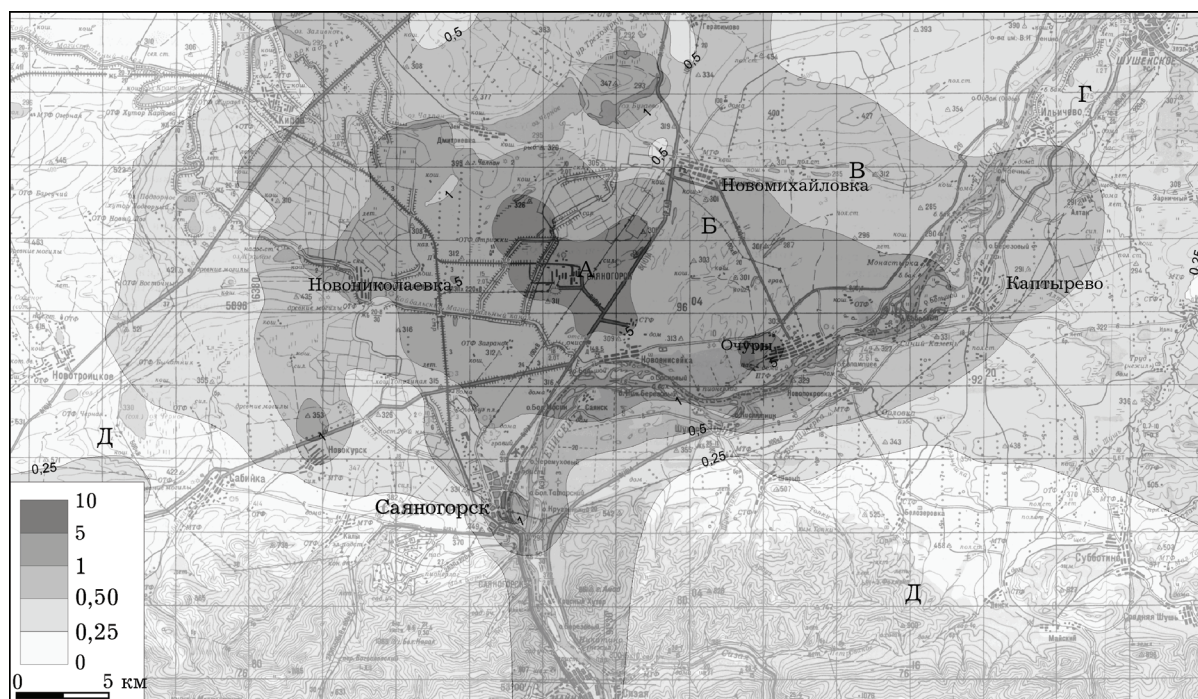


Рис. 4. Зоны экологического риска в ПДК водорастворимого фтора:

А – большого (> 5); Б – среднего (1–5); В – небольшого (0,5–1); Г – малого (0,25–0,5); Д – скрытого (< 0,25 ПДК).  
Электронная версия Д. А. Лопаткина

Химический состав снеговой воды в зонах экологического риска

Зона	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S*
А	6,6	12,8	2,6	32,8	33,7	7,8	1,9	0,8	19,3	18,1	130
	6,0	5,7	2,3	9,3	9,6	3,2	0,7	0,4	5,1	3,4	40
Б	6,0	5,5	1,1	7,7	6,0	3,8	0,8	0,4	3,2	2,5	31
	6,8	11,2	1,1	3,7	3,0	5,5	0,9	0,2	1,6	1,1	28
В	5,9	5,6	1,2	4,5	1,1	3,8	0,7	0,2	0,6	0,4	18
Г	5,6	3,1	1,1	3,9	0,7	2,7	0,5	0,2	0,3	0,2	13
Д	5,3	2,4	1,1	0,1	0,3	1,4	0,3	0,1	0,2	0,1	6

П р и м е ч а н и е. \* – минерализация.

заметить, что такой способ оценки носит предварительный характер и будет справедлив только для очень короткого весеннего периода. В остальное время содержание водорастворимого фтора в почвах, отражающее его многолетнее поступление в составе пылегазового потока, будет иным вследствие процессов рассеяния и аккумуляции.

Выделено четыре зоны экологического риска (см. рис. 4). Кроме фтора в снеговой воде указанных выделов в повышенном количестве присутствуют натрий, алюминий, кальций, магний, сульфат- и гидрокарбонат-ионы, что суммарно отражено в таком показателе, как минерализация растворов (табл. 3).

Обнаруженные во всех зонах в большом количестве фтор, натрий и алюминий являются индикаторами и неоспоримым доказательством загрязнения природной среды выбросами алюминиевых заводов (см. табл. 3). Такие элементы, как калий и хлор, отражают фоновые условия. Щелочноземельные элементы, гидрокарбонат- и сульфат-ион в большей степени указывают на наличие тепловых источников на территории исследования, идентифицируя в том числе тепловую станцию, которая находится на одной промышленной площадке с алюминиевыми заводами.

Снежный покров характеризует состояние воздушного бассейна той или иной территории и дает первое визуальное представление о качестве среды обитания человека. Населенные пункты и земли хозяйств, расположенные на расстоянии 25–30 км от алюминиевых заводов, оказались в той или иной

мере подвержены воздействию пылегазовых эмиссий (см. рис. 4). В общей сложности в зонах разной степени опасности находятся земли девяти сельскохозяйственных объединений. В умеренно опасной зоне “Б” с содержанием в снеговой воде 2–5 мг/дм<sup>3</sup> находятся села Новонисейка, Новониколаевка и Очуры. Села Дмитриевка и Новомихайловка благодаря расположению в низине оказались в ветровой тени и поэтому находятся в более благоприятных условиях относительно газовой составляющей выбросов. Однако это не гарантирует полной безопасности вследствие возможной аккумуляции поллютантов в почвах и растениях вследствие их миграции в отрицательные формы рельефа с окружающей территории. Кроме того, население и животные свободно посещают зоны повышенной и высокой степени экологического риска. Никаких опознавательных или запретительных знаков на местности не установлено.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено:

– воздушный перенос пылегазовых эмиссий на юге Минусинской котловины осуществляется преимущественно в северо-восточном направлении со смещением в долину Енисея;

– основным загрязнителем природной среды является ОАО “РУСАЛ Саяногорск”. С твердым плохо растворимым веществом, содержание элементов в котором повышено по



сравнению с почвами фона, привносятся  $F_{27,5}$ ,  $Ni_{17,6}$ ,  $Al_{5,1}$ ,  $V_{3,5}$ ,  $Zn_{2,5}$ ,  $Cu_{2,0}$ . В составе растворимого вещества поступают  $F_{418}$ ,  $Al_{48}$ ,  $Na_{14}$ ,  $Ca_{13}$ ,  $Mg_{11}$ ,  $Si_6$ ,  $K_5$ ,  $Sr_5$ ,  $Ba_4$ ,  $Fe_4$ ,  $Zn_2$ ;

– существенное влияние на компоненты геосистем могут оказать химические элементы, содержание которых превышает фоновые значения в десятки раз. К ним относятся фтор, алюминий и в некоторой мере никель и натрий;

– среди указанных поллютантов наибольшую опасность представляет фтор. Высокий уровень его содержания отмечается на расстоянии до 5 км от предприятия (в пределах 10–5 ПДК для почв) и умеренный – до 15–17 км (на уровне ПДК).

Удалось выделить приоритетную группу химических элементов-загрязнителей, поступающих от алюминиевых заводов, определить дальность их переноса и выявить закономерности первичного распределения на территории, прилегающей к источникам загрязнения, рассчитать аэрозольные и поэлементные нагрузки на геосистемы. На основе установленных уровней содержания элементов-токсикантов в снеговой воде и приведения их к ПДК для почв показана возможность выделения техногенных геохимических аномалий и предварительного зонирования территории по степени экологического риска. Из-за долговременного поступления поллютантов зонирование по снежному покрову носит предварительный характер. Для более полной и объективной оценки уровня загрязнения и степени риска будут применены методы комплексных исследований и оценки качества природной среды. Полученные материалы планируется передать местным органам управления с целью использования их для информирования населения о наиболее опасных местах, а также получения от предприятий-загрязнителей субсидий на поддержание здоровья местных жителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Окружающая среда. Споры о будущем. М.: Мысль, 1983. 175 с.
2. Глазовская М. А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 7–41.
3. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. М.: Изд-во МГУ, 1985. 208 с.
4. Сергеев А. И. Влияние термических и динамических факторов на сезонные преобразования барического поля над азиатской территорией СССР // Климат озера Байкал и Прибайкалья. М., 1996. С. 3–13.
5. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. Вып. 21, ч. IV. 402 с.
6. Грудинин Г. В. Снежный покров юга Минусинской котловины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 160 с.
7. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. Вып. 21, ч. III. 354 с.
8. Природные режимы степей Минусинской котловины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 235 с.
9. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 180 с.
10. Давыдова Н. Д., Волкова В. Г. Карты прогноза техногенной трансформации ландшафтов (методика составления и результаты). Эколого-географическое картографирование и районирование Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. С. 86–108.
11. ПНДФ 16.1:2.3:3-11-98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. М., 2005. 28 с.
12. ПНДФ 14.1:2:4.135-2005. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. М., 2008. 24 с.
13. РД 52.24.377-95. Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) в поверхностных водах суши методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. Ростов-на Дону, 1995. 23 с.
14. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. Ростов-на Дону, 2008. 25 с.
15. Русин Г. Г. Физико-химические методы анализа в агрохимии. М.Ц.О. Агromетеоиздат, 1990. 303 с.
16. Саев Ю. Е., Смирнова Р. С. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии. М.: Мысль, 1983. Сб. 120. С. 45–55.
17. Перельман А. И., Касимов А.С. Геохимия ландшафта. М.: “Астрей-2000”, 1999. 763 с.

18. Приказ № 20 Росрыболовства “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения”. М., 2010.
19. Сараев В. Г. Содержание фтора в почвах Минусинской котловины в зоне воздействия алюминиевого завода // Почвоведение. 1993. № 2. С. 94–97.
20. Давыдова Н. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова фторидами при производстве алюминия // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде. Семипалатинск, 2004. Т. 2. С. 368–373.

## **Identification of Chemical Elements as Pollutants and Their Primary Distribution over the Territory of Steppe in Southern Minusinsk Depression**

N. D. DAVYDOVA, T. I. ZNAMENSKAYA, D. A. LOPATKIN

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
664033, Irkutsk, Ulan-Baroskaya str., 1  
E-mail: davydova@irigs.irk.ru*

The chemical composition of solid and liquid phases of snow samples taken at different distances from emission sources was studied, priority elements polluting geosystems during the production of aluminium were determined and the halos of their spatial scattering were revealed. Total pollution index and the load of pollution were calculated. On the basis of quantitative indicators, in application to the MPC, the zones of ecological and geochemical risk were revealed. A comparative analysis of the levels of selected elements in the association of industry-induced aerosol in the area of the greatest risk and in background soil was carried out.

**Key words:** snow cover, pollution, pollutants, scattering halos, industry-induced load, environmental risk.