

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
СНЕГОВОГО ПОКРОВА И ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
ИРКУТСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА**

© 2003 г. И. А. Белозерцева

Институт географии СО РАН

664033 Иркутск, Уланбаторская, 1; e-mail: belmorja@mail.ru

Поступила в редакцию после доработки 12.09.2002 г.

В последние годы уделяется большое внимание изучению воздействия выбросов промышленных предприятий на окружающую среду Байкальского региона. Однако многие вопросы не решены, дискуссионны и требуют дальнейшего изучения.

Одним из информативных объектов при выявлении техногенного загрязнения окружающей среды является снежный покров. Статья посвящена изучению особенностей элементного химического состава снежного покрова и почв в зоне влияния Иркутского алюминиевого завода (ИрААЗ).

Нами проведено изучение концентрации 20 химических элементов в снеге и почве на удалении от ИрААЗа от 0.5 до 6 км в четырех направлениях и на контрольной территории (в 20 и 70 км к юго-востоку), с учетом розы ветров [1]. Содержание металлов устанавливалось количественным спектральным методом. Определение концентрации растворимых ингредиентов проводилось по разным общепринятым методикам в зависимости от содержания. Содержание фтора измерялось на иономере с применением фтор-селективного электрода.

Полученные данные по количеству вещества в снеге отражают накопление поллютантов за зимний период и позволяют ориентировочно судить о годовых выпадениях, выделяя сферу влияния промышленного объекта. По уровню концентраций элементов прослеживается их пространственная изменчивость в зависимости от расстояния и направления от ИрААЗа. Их концентрация увеличивается по мере приближения к заводу. Высокое содержание элементов распространяется на жилую часть города, сельхозугодья и садоводческие кооперативы (рис. 1).

В окрестностях ИрААЗа твердая фаза может быть представлена в основном алюминием (до 88%), за исключением площадки в 0.5 км к северо-востоку от завода, где концентрация алюминия значительно меньше, чем масса нерастворимого остатка. В его составе большая доля может приходиться на механические примеси, попадаю-

щие в атмосферу от расположенных поблизости завода железобетонных изделий (ЖБИ), авторемзавода, автобазы и места разгрузки и первичной переработки сырья. Здесь в несколько раз повышена концентрация всех элементов за исключением фтора в твердой фазе и марганца в растворимой. При просмотре под микроскопом в твердой фазе видны округлые обломки размером более 0.1 мм, представленные кварцем и полевыми шпатами. Образцы из других направлений хорошо сортированы, не содержат частиц >0.1 мм.

Водорастворимое техногенное вещество выбросов (сухой остаток снега) вблизи ИрААЗа (0.5 км) по своей массе, по направлению на С-З и Ю-В в 43–65 раз меньше нерастворимого вещества в воде (твердый остаток снега), а на С-В и Ю-З в 7–21 раз, но гораздо активнее последнего по своему воздействию на природную среду. Максимальные выпадения приходятся на северо-восточное направление от завода. Вероятно, это связано с преобладанием в зимние месяцы частоты западного ветра. Его доля за 1995–1996 и 1996–1997 гг. составляла 23–28%. В зимний период 1997–1998 гг. возросла доля юго-западного ветра (до 20%). Доля северо-восточного ветра сохранялась в эти годы низкой (8–12%).

На расстоянии 1 км максимальная техногенная нагрузка приходится в оба срока к северо-западу от завода и в один срок к северо-востоку. На удалении от завода до 6 км масса выбросов в разных направлениях оказалась сходной (0.16–0.27 г/л), за исключением северо-западного направления, где она равна 0.04 г/л.

По мере удаления от источника загрязнения относительная доля водорастворимого техногенного вещества увеличивается. Так, водорастворимое техногенное вещество уже в 2–6 км на С-З и Ю-В в 2–9 раз, а на С-В и Ю-З в 4–5 раз меньше нерастворимого.

Ареал загрязнения не является постоянным. Для твердых выпадений с концентрацией 0.5 г/л в 1996 г. он составлял около 14 км², а в 1997 – 8 км², охватывая южную половину г. Шелехова и север-

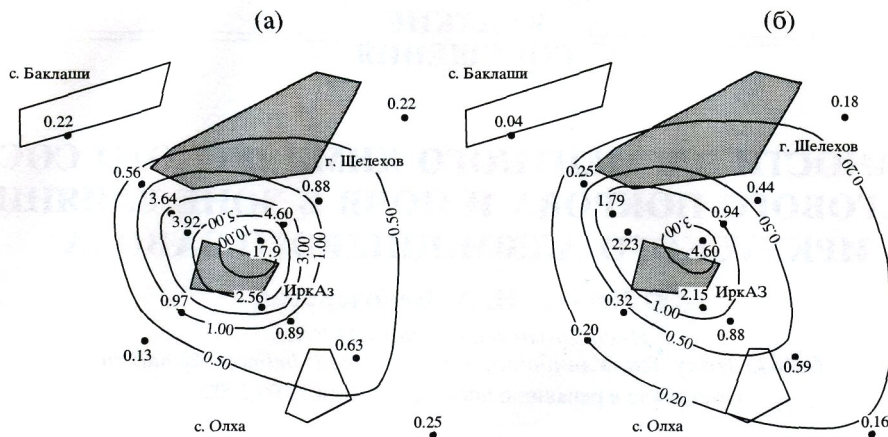


Рис. 1. Содержание твердого остатка в снегу за зимний период 1996 г. (а), 1997 г. (б) в зоне воздействия ИркАЗа, г/л.

ную половину пос. Олха, а в следующий год он только достигал их окраин. Ареал зависит от объема выбросов и комплекса метеофакторов, способствующих их рассеиванию.

В твердом осадке сосредоточено более 95% элементов. Только фтор, натрий и калий преобладают в растворимой форме. Концентрация F вблизи завода в жидкой фазе (ЖФ) достигает более 95%. Здесь же, по сравнению с северо-западным направлением, в твердой фазе в 3–8 раз выше концентрация меди, никеля, хрома, ванадия и

свинца. Разница в содержании водорастворимых форм этих элементов составляет 10–60 раз. По мере удаления от источника загрязнения (6 км) концентрации элементов в ЖФ возрастают.

К приоритетным элементам, концентрация которых в десятки раз выше фоновой, относятся алюминий и фтор. В катионно-анионном составе снеговой воды фтор выступает как макроэлемент. Ниже приведен ряд ионов по величине их концентрации (мг/л) в снеговой воде:

F ⁻	>	SO ₂ ⁴⁻	>	Na ⁺	>	Ca ²⁺	>	HCO ₃ ⁻	>	Mg ²⁺	>	Cl ⁻	>	K ⁺	>	CO ₃ ²⁻	Сумма	pH
52		19.2		19		12		7.3		4.3		3.6		2.3		нет	119.7	6.6

В зоне техногенного воздействия завода снеговая вода в целом имеет реакцию, близкую к нейтральной (рН от 6.1 до 6.9). В условиях “чистого” фона эти воды характеризуются величиной рН – 7.0 ± 0.1.

Максимальное содержание фтора в растворе снеговой воды достигает в разные годы 55 и 66 мг/л. При удалении на 1–3 км уровень концентрации элемента в зависимости от направления ветра снижается до 5–10 мг/л. Прилегающие к заводу населенные пункты находятся в ареале, где содержание фтора снижается до 5–10 мг/л в снегу и превышает ПДК [2] в несколько раз.

К токсикантам первого класса опасности среди исследованных элементов относится также свинец. Содержание свинца в снегу намного меньше, чем фтора, и находится он в основном в твердой фазе. Его ПДК - 0.1 мг/л [2]. Такая концентрация в твердой фазе (ТФ) наблюдается только в ближайших окрестностях завода.

Элементы с высоким кларком (железо, кальций, магний) мало различаются по концентрации в сухом и твердом осадках и в зависимости от расстояния от завода (в мг/кг сухого и твердого остатка). Максимальные концентрации железа близки к кларку литосферы или к контрольным значениям, а кальция и магния почти во всех случаях ниже. При пересчете на объем снеговой воды выявляется резкая дифференциация элементов в жидкой и твердой фазах. В твердом остатке их содержание в десятки раз выше. Концентрация быстро снижается при удалении от завода в твердой фазе и постепенно или даже с возрастанием – в жидкой. Эти различия – следствие аэрогенной дифференциации в зависимости от форм связей элементов, их дисперсности.

Концентрация (мг/кг сухого и твердого остатка) в выбросах титана, марганца и бария – элементов переходных от макро - к микроэлементам, в целом ниже кларка литосферы и фоновой.

Специфично поведение микроэлементов Cu, Ni, Co, Cr, V, большинство из которых относится к токсикантам II класса опасности. Средний уровень содержания их близок к кларку литосферы. Однако в зависимости от удаления от источника выбросов он сильно дифференцирован (наблюдается возрастание концентрации микроэлементов на 6 км в 2–10 раз). Это связано с тем, что по мере удаления на С-З и Ю-В уменьшается количество преобладающих в жидкой и твердой фазах снега F, Na, Al; а к С-В уменьшается количество механических примесей (кварц, полевые шпаты), тогда как количество микроэлементов уменьшается в меньшей степени.

Количество сухого и твердого остатка по мере удаления от завода уменьшается. Следовательно, при пересчете содержания микроэлементов на единицу объема и площади (с мг/кг на мг/л и т/км²) концентрации их снижаются.

По результатам анализов ТФ снега вблизи завода (до 1 км) концентрации элементов (мг/л) превышают фон в 45–518 раз. В ЖФ снега концентрации элементов превышают фон в 3–208 раз.

По запасу (т/км²) техногенного вещества в снежном покрове вблизи ИркАЗа превышение над фоном составило для нерастворимых форм элементов в воде 3–210, для водорастворимых – 1–90 раз.

На расстоянии 1 км от завода коэффициент концентрации (K_k) всех элементов по отношению к фону, за исключением Cl и K, превышает 40; от 40 до 60 – Sr, V, Mg, Cr, Ni, Fe, Co; от 60 до 100 – Pb, Ca, Cu; более чем 100 раз – F, Al, Mn, Ba, Na (рис. 2). Те же элементы по запасам в снеге распределяются аналогично. Максимальный запас фтора в снеговой воде нерастворимого: 1 т/км², растворимого – 2.6 т/км².

По мере удаления от завода (2; 6 км), как уже отмечалось, наблюдается резкое снижение концентраций элементов. Содержание большинства из них близко к фону, за исключением Al, Pb, F, Fe. Резкое снижение содержания элементов в снеге связано с влиянием метеоусловий, неблагоприятных для рассеивания вредных примесей.

Основным дифференцирующим фактором в распределении химических элементов выступает климатический – направление ветров. Ареалы высокого содержания элементов ориентированы в 3-х направлениях – юго-восточном и северо-западном, где наблюдается более частая повторяемость ветров, чем в остальных направлениях, и в северо-восточном, как за счет ветров с юго-запада, так и комплекса предприятий – завода железобетонных изделий, автобазы, авторемзавода и место разгрузки и первичной переработки глинозема.

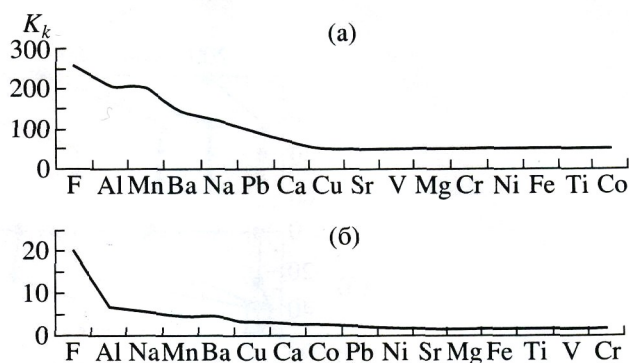


Рис. 2. Коэффициент концентрации элементов в снеге (а), в органогенных горизонтах почвы (б) вблизи ИркАЗа (до 1 км).

Следует отметить, что содержание большинства элементов в ЖФ снега контрольной территории \leq ПДК (для вод культурно-бытового водоснабжения и питьевого водопользования, для речных водоемов) [2, 3].

Из результатов эксперимента по растворимости твердого остатка снега в дистиллированной воде следует, что элементы (F, Na, K, Ca, Mg, Cl) способны к растворению. Следовательно, при выпадении дождей часть их переходит в растворимое состояние [4].

Сходство полученных данных по содержанию элементов в снежном покрове за 1996 г. с результатами работ, выполненных в 1988–1990 гг. ПГО “Сосновгеологией” и Институтом геохимии [5, 6], свидетельствует о том, что количество токсических выбросов за этот период не сокращалось, т.е. улучшения в отношении загрязнения атмосферы окрестностей завода не происходило, что соответствует ежегодным выбросам завода [7]. Однако данные, полученные нами в 1997–1998 гг., свидетельствуют о снижении техногенных выбросов в эти годы благодаря снижению объемов производств и выполнению природоохранных мероприятий, что соответствует выбросам завода [8].

При сопоставлении химического состава снеговых вод исследованного района с данными для Южного Байкала, удаленного от промышленных центров [9, 10], выявлены определенные различия. В растворимой фазе южнобайкальского снега при расчете на сухое вещество по сравнению с пришехонским не обнаружено железа (его концентрация ниже чувствительности прибора), повышено содержание Ca, Mg, Sr и понижено – Ti, Mn. В твердой фазе возросла концентрация Ti, Ni, Co, Cr, V и Pb. Однако по концентрациям в ЖФ, отражающей запасы элементов в снеге Южного Байкала, выявляются иные закономерности. Содержание большинства элементов здесь в несколько раз ниже, чем вблизи ИркАЗа и на контрольных точках в 20 и 70 км к юго-востоку.

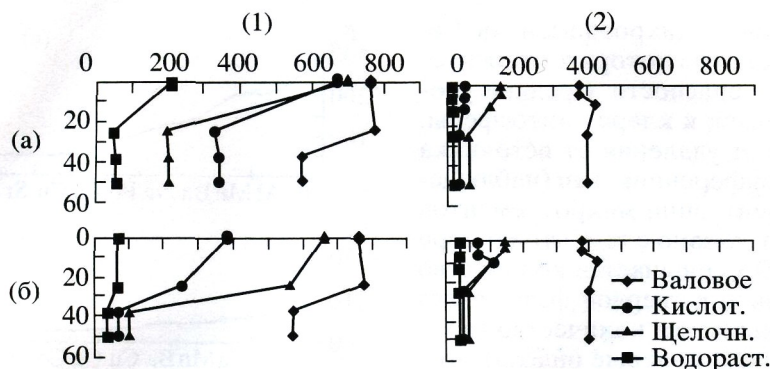


Рис. 3. Вертикальное распределение различных форм фтора в почвах: а – весенний период, б – осенний период (мг/кг) в 0.5 км (1) и 70 км (2) от ИркАЗа.

Из данных вытекает вывод: загрязнение территории от локального источника – алюминиевого завода – распространяется на десятки километров по преобладающему направлению ветра и на юге Байкала сменяется региональным, где осадки меньше загрязнены элементами, свойственными для окрестностей г. Шелехова. В его формировании участвуют выбросы Ангарско-Иркутского промышленного района.

Представляет интерес техногенное загрязнение почв данного района. Они представлены дерново-лесными, дерново-карбонатными и серыми лесными, характеризуются гранулометрическим составом от легкосуглинистого до легкоглинистого, слабощелочной и нейтральной реакцией, содержанием гумуса от очень низкого до очень высокого.

Вблизи завода (в 0.5 км к юго-востоку и северо-востоку) располагаются почвы со слабощелочной реакцией ($\text{pH} = 8.1\text{--}8.5$), где по исследованиям снежного покрова наблюдаются максимальные выбросы завода щелочных металлов и кальция, которые могли бы способствовать подщелачиванию почвы. Отсутствие подщелачивания можно связать с нейтрализацией их газовыми выбросами кислотных компонентов. Таким образом, подщелачивание возможно только вблизи завода в пределах его санитарно-защитной зоны, но по данным анализа снега этого не выявляется.

Валовое содержание натрия вблизи завода в почвах указанных направлений в 2–10 раз выше, чем в почвах удаленных площадок или контрольной. В почвах ближних к заводу площадок сравнительно высоко содержание подвижного натрия. Оно резко (на порядок) убывает по мере удаления от завода. В этом же направлении снижается pH почв до нейтральных и слабокислых значений. Исключение составляет площадка в 2 км юго-восточного направления. Почва здесь суглинисто-глинистая с высоким содержанием ила и обменных оснований, высокогумусирована, содержит погребенный гумусовый горизонт. Эти свой-

ства свидетельствуют о высокой буферности почвы, что подтверждается устойчивыми значениями pH .

Устойчивые исходные концентрации натрия в почвах, удаленных от завода, и в контрольной позволяют рассчитать накопление техногенного натрия. Оно составляет 6–8% на расстоянии 0.5 км, 1–4% – 1 км, 0–3% – 2 км.

Сходно накопление в почвах алюминия, хотя абсолютные показатели его выше и на мало загрязненных площадках близки к кларку литосферы. Загрязнение почв алюминием прослеживается на меньшей площади: на расстоянии 1 км алюминия не намного больше, чем на удаленных участках.

Среди химических элементов в почвах, как и в снеге, более всего накапливается фтор. K_k его вблизи завода в кислотной вытяжке почти на порядок выше, чем других элементов. В целом же при удалении от завода его концентрация снижается. В 6 км от завода уровень водорастворимого фтора, который может представлять потенциальную опасность для растительного покрова, снижается до ПДК [2]. За период вегетации доля всех форм фтора, как и кислоторастворимых форм других элементов, снижается (рис. 3).

Одна из особенностей поведения фторидов в почвах – их высокая растворимость, составляющая 40–90%. На контрольной площадке, по сравнению с испытуемыми, растворимость, особенно в осенний срок, резко снижается. Кроме пестроты почвенного покрова этот факт можно объяснить тем, что до Байкала влияние атмосферного переноса фтора от ИркАЗа не распространяется. Снижение концентрации фтора на Байкале (в Листвянке и Култукке) до фонового уровня отмечалось ранее И.С. Ломоносовым [5] и др.

Определенные изменения выявлены относительно других химических элементов. Так, в нижних горизонтах почв концентрация свинца близка к кларку литосферы, а в верхних горизонтах,

особенно на площадках вблизи завода, она увеличивается в 1,5–4 раза. Растворимая форма свинца к осени резко снижается, что может указывать на его более прочное закрепление.

Близкие показатели по валовому содержанию элемента и их подвижных форм выявляются для марганца и бария. Их максимальное накопление приходится в 0,5 км от завода в северо-восточном направлении.

Сходные показатели изменения в зависимости от расстояния от завода и глубины прослеживаются для микроэлементов меди, никеля, кобальта. Их максимальные значения в верхних горизонтах по сравнению с контрольной точкой, близкой к кларку литосферы, достигают трех раз.

В целом, максимальные концентрации элементов наблюдаются в органогенных горизонтах, которые для них являются геохимическим барьером. Как известно, органические коллоиды, органо-минеральные комплексы обладают высокой поглотительной способностью. С глубиной содержание элементов в почве уменьшается. Концентрации Ba, Co, Sr, Mg, Fe, Ti, Cr, V, K достигают значений контрольной территории, а содержания Al, Mn, Cu, Pb, Ni близки к ним. Однако содержание F, Na, превышающее фоновое, наблюдается по всему профилю почв, несмотря на резкое уменьшение. Это говорит об их миграции по всему корнеобитаемому слою.

В верхних горизонтах доля кислоторастворимой формы в основном составляет более 50%. Доля кислоторастворимых форм элементов дальних площадок увеличивается по всему профилю, несмотря на их меньшие абсолютные значения, чем вблизи завода. Вследствие возрастания потенциально подвижных форм элементов по мере удаления от завода они могут обладать большей миграционной способностью, чем вблизи источника загрязнения. Исключением явились Al, Na, F в почвах вблизи завода (в 0,5 км к Ю-В, С-В), имеющих щелочную реакцию, где миграция элементов может быть относительно повышена. Доля подвижного F увеличена как вблизи завода (0,5 км), так и по мере удаления от него (элемент подвижен и в щелочной, и в кислой среде).

Содержание Na и F в кислотной вытяжке превышает фон (для органогенных горизонтов) более чем в 10 раз; Pb – от 5 до 10; Mn, Ni, Sr, Cu – от 2 до 5; Ba, Co, K – менее чем в 2.

По валовому содержанию F, Al, Mn, Ba, Na в органогенных горизонтах превышают контрольные вблизи завода более чем в 5 раз; Ca, Cu – от 3 до 5; Co, Pb, Ni, Sr, Mg, Fe, Ti, V, Cr менее чем в 3 (рис. 2).

При этом по валовому содержанию Al, Na, Mn и Ba входят по шкале Добровольского [11] в категорию слабого загрязнения; а элементы второй и третьей группы – в категорию природной флук-

туации содержания металла. По активным (кислоторастворимым) формам металла, элементы этих группы входят в категории более сильного загрязнения.

Таким образом, по характеру распределения выявлены определенные устойчивые связи химических элементов и выделены три группы с разной концентрацией в системе снег–почва. Первая группа химических элементов (F, Al, Na, Mn, Ba) характеризуется высоким содержанием в снеге с превышением концентраций элементов более 50 раз по сравнению с фоном и средним содержанием в почве (с превышением в 5 раз). Вторая группа включает Ca и Cu. Их содержание в снеге превышает в 25–50 раз фоновое и в почве в 3–5 раз. Третью группу (Co, Ni, Sr, Mg, Fe, Ti, V, Cr) характеризует среднее содержание в снеге (с превышением фона в 8–25 раз) и очень низкое в почве (с превышением менее чем в 3 раза). Связь концентрации элементов в снеге и почве свидетельствует об их техногенном происхождении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозерцева И.А. Техногенное воздействие на снежный покров Верхнего Приангарья // География и природные ресурсы. 1999. № 2. С. 46–51.
2. Нормативные документы государственного комитета по охране окружающей среды Иркутской области Госкомэкологии России. Госкомприроды Иркутской области, Иркутск, 1997. 231 с.
3. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 198 с.
4. Сараев В.Г., Белозерцева И.А. О растворимом веществе в снеге близ Шелехова // География и природные ресурсы. 1999. № 4. С. 64–71.
5. Ломоносов И.С., Гапон А.З., Арсентьева Л.Г. Иркутский промышленный район – г. Иркутск, Ангарск, Шелехов // Экогеохимия городов Восточной Сибири. Якутск: Ин-т мерзлотоведения, 1993. С. 25–37.
6. Экологическая обстановка в Иркутской области в 1990 г.: Ежегодный доклад. Иркутск, 1991. 62 с.
7. Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы предприятий г. Шелехова. Иркутск, 1998. 265 с.
8. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1998 году. Иркутск, 1999. 182 с.
9. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1997. 237 с.
10. Кузьмин В.А. О химическом составе верховых торфяников и снега Южного Прибайкалья (в связи с проблемой загрязнения окружающей среды) // География и природные ресурсы. 1999. С. 96–98.
11. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. № 5. С. 639–645.