

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ Иркутского алюминиевого ЗАВОДА

В 1996-2012 гг. были проведены детальные работы по изучению загрязнения снежного и почвенного покрова в зоне воздействия Иркутского алюминиевого завода. Установлены основные загрязнители атмосферы и почв, объем и площадь распространения поллютантов. Прослежена динамика по техногенным выбросам.

Введение

На территории Верхнего Приангарья мощное негативное влияние на окружающую среду, в том числе городскую, оказывает алюминиевое производство. Мощность производства алюминиевых заводов на юге Сибири составляет от 450 (Иркутский алюминиевый завод, ИркАЗ) тыс. т/год до 1000 (Братский алюминиевый завод, БрАЗ) и более, хотя международные нормы с учетом требований по охране окружающей среды ограничивают эти объемы до 200-300 тыс. т/год.

Исследовалось воздействие ИркАЗа, возведенного в Олхино-Иркутской впадине, в 1,5 км к югу от жилой части г. Шелехова, на почвы. В его окрестностях распространены сильно нарушенные вторичные смешанные (сосна, береза, осина) травяные леса, часто с кустарничковым ярусом из рододендрона [1].

В 1996-2012 гг. проведены исследования техногенного загрязнения территории. Объектами служили лесные, луговые и пахотные участки на пологих склонах северной и северо-западной экспозиции отрогов Олхинского плоскогорья с абс. высотой

И.А. Белозерцева*,
кандидат географических наук,
заведующая лабораторией геохимии ландшафтов и географии почв,
ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук

около 500 м и превышением над уровнем р. Иркут 50-60 м, на террасированном между-речье Иркуты и его притока Олхи с превышением 20-35 м, на их высокой и низкой пойме.

Пробы снега и почв отбирались на расстоянии 0,5-6 км от завода и с учетом розы ветров в 20 и 70 км (контрольные объекты). Анализы проб выполнялись общепринятыми методами [2-4].

Результаты и их обсуждение

Производство первичного алюминия способом электролиза, используемым на ИркАЗ, обуславливает довольно интенсивное загрязнение окружающей среды фтористыми соединениями, что сказывается на санитарно-гигиеническом состоянии почв [5], оксидами углерода и серы, а также веществами первого класса опасности — соединениями ванадия, хрома, никеля, полициклическими ароматическими углеводами, в частности бенз(а)пиреном, часть из которых обладает мутагенной и канцерогенной активностью. По массе выброса вредных веществ в атмосферу и их отношению к ПДВ ведущими в г. Шелехове являются ОАО «РУСАЛ-ИркАЗ» (77 %) и ОАО Иркутская ТЭЦ-5 (19 %) [6].

Г. Шелехов расположен в полузамкнутой отрицательной форме рельефа, представляющей собой широкую долину р. Иркут и ее правого притока р. Олхи, скоплению и застоянию вредных примесей в атмосфере города способствуют неблагоприятные метеорологические условия, которые характеризуются высокой повторяемостью приземных температурных инверсий и слабых ветров. Несоввершенство планировочной структуры в размещении жилых массивов города вблизи алюминиевого завода (при-

*Адрес для корреспонденции: belozia@mail.ru,
belozia@irigs.irk.ru



Рис. 1. Содержание твердого вещества в снегу за зимний период 1996 г. (рис. слева) и 2010 г. (рис. справа) в зоне воздействия ИркАЗ, г/дм³.

мерно 1,5 км) можно было бы избежать, но в период его строительства формирование населенных мест в стране было подчинено, прежде всего, стратегическим задачам индустриализации [7].

Промышленные источники выбрасывают в атмосферу вещества преимущественно I-III классов опасности от объектов цветной металлургии — F, HF, Al, Mn, Co, Ni, Na, Ba, Cu, Pb, Fe, Zn, Mo, Be, V, Hg, Cd, бенз(а)пирен, Cr, NO₂, пыль, SO₂; теплоэнергетики — твердое вещество (зола, пыль), SO₂, CO₂, Ca, S, Sr, Fe, Mn, Mg, Ba, Co, Cu, Ni, Cd. Класс опасности многих продуктов техногенеза не установлен, хотя известно их канцерогенное, аллергенное, мутагенное действие. Вклад транспорта в общий уровень загрязнения городской среды с учетом только свинца и оксидов азота достигает 4 %. Вредное влияние на организмы оказывают ион аммония, нитраты и особенно опасны органические вещества — фенолы, формальдегид, метилмеркаптан и др.

С производством алюминия связано загрязнение окружающей среды химически активным и токсичным фтором — элементом I класса опасности. Биологически значимая концентрация иона F⁻ в питьевой воде составляет 0,7-1,0 мг/дм³ при пороге концентрации по токсическому действию

1,5-2 мг/дм³. Особенно токсична газообразная форма элемента — фтористый водород (HF).

На территории до 1 км от ИркАЗ в снеговой воде максимальная концентрация фтора достигает 66 мг/дм³ (2,6 т/км²), 10-25 мг/дм³ в пос. Олха и 5-20 мг/дм³ в г. Шелехове, а за границей зоны активного воздействия составляет 1-5 мг/дм³.

Результаты анализов показали, что на расстоянии до 1 км от ИркАЗ величины коэффициентов концентрации (K_к) в снежном покрове от 40 до 60 характерны для Sr, V, Mg, Cr, Ni, Fe, Co; K_к от 60 до 100 — для Pb, Ca, Cu; K_к более 100 — для F, Al, Na, Mn, Ba. Ареал максимального загрязнения (рис. 1, табл. 1) охватывает около 14 км², включая южную часть г. Шелехова и северную половину п. Олха. Накопление твердого вещества в снежном покрове в промышленной части города превышает 20 мкг/м², в санитарно-защитной зоне ИркАЗ достигает 18, в жилых кварталах — 1-13, в садоводческих и сельскохозяйственных пригородных участках — 2-5 мкг/м². С удалением от завода на 2-6 км концентрация большинства элементов резко снижается, приближаясь к фоновой, за исключением Al, Pb, F, Fe.

Около завода содержание элементов в твердой фазе снеговых вод от 7 до 65

Таблица 1

Максимальные превышения фонового содержания и концентрация элементов в жидкой фазе снега вблизи ИркАЗ (до 1 км)

Элемент	1996 г.		2002 г.		2010 г.	
	Превышение фона, число раз	Содержание, мг/л	Превышение фона	Содержание, мг/л	Превышение фона	Содержание, мг/л
F	208	55,00	189	50,00	159	43,00
Al	54	7,60	77	10,81	79	11,12
Si	31	6,27	19	3,81	8	1,51
Mn	52	0,80	12	0,18	7	0,11
Ba	49	0,50	10	0,10	1	0,01
Pb	27	0,07	8	0,02	4	0,01
Ca	23	7,00	7	2,32	28	9,30
Na	123	67,5	33	18,0	64	35,29
K	15	5,1	3	0,98	7	2,36
Cu	32	0,06	11	0,02	6	0,01
Sr	17	0,12	4	0,03	2	0,06
Cr	16	0,04	4	0,01	1	0,00
Mg	26	5,90	7	1,62	7	1,61
V	20	0,04	5	0,01	10	0,02
Ni	45	0,09	10	0,02	5	0,01
Fe	27	27,1	6	5,67	1	0,04
Ti	13	1,10	3	0,23	1	0,00
Co	20	0,01	16	0,00	15	0,00
S	10	7,10	2	1,70	12	10,00
Cl	3	0,31	3	0,28	30	3,55

раз превышает количество в жидкой фазе. Только F, Na и K преобладают в растворенной форме. Концентрация фтора в жидкой фазе снега вблизи завода достигает 95 %. В ионном составе снеговой воды фтор выступает как макроэлемент. По мере удаления от завода относительная доля растворенного вещества возрастает.

Ареалы наиболее высокого содержания химических элементов, ориентированные в Ю-В и С-З направлениях, обусловлены, в основном, ветром, а в С-В направлении — преимущественно рельефом, расположением террасы, на которой находится завод. Максимально содержание элементов в снежном покрове на расстоянии 0,5–1 км от завода.

В результате модернизации технологического процесса (введения обожженных анодов и новой техники по очистке газовых выбросов) и одновременно снижения выпуска алюминия-сырца к 2004 г. выбросы завода резко сократились, что отразилось на значи-

тельном снижении в снежном покрове твердого вещества (взвесей) и растворенного вещества (сухого остатка). Однако в связи с последующим введением в эксплуатацию пятой серии электролизного производства и увеличением выпуска алюминия-сырца показатели загрязнения снежного покрова в 2008 г. вернулись к их уровню в 2000–2002 гг. (табл. 2).

Из сопоставления состава снеговых вод исследованного района с данными по удаленному от промышленных центров Южному Байкалу [8, 9] следует вывод, что загрязнение территории Верхнего Приангарья от локального источника (ИркАЗ) распространяется на десятки километров по преобладающему направлению ветров. На юге Байкала химический состав атмосферных осадков отличается от Шелеховского района, и загрязнение носит региональный характер, обусловленный выбросами Ангаро-Иркутского промышленного района в целом.

Основная масса вещества техногенных эмиссий поступает на поверхность почвы, представляющей актуальный компонент городской среды. От самоочищающей способности почв зависит состояние зеленых насаждений, оптимизирующую экологическую обстановку города. Почвы нейтрализуют опасные вещества, ограничивая их вовлечение в организм животных и человека. В целом свойства городских почв являются индикатором качества жизни, условия обеспечения здоровья населения.

Почвы рассматриваемой территории представлены серыми, дерново-подзолистыми, аллювиальными серогумусовыми и перегнойно-глеевыми, а также их техногенно трансформированными аналогами. В зоне влияния ИркаЗ преобладают техногенно трансформированные серые почвы с мало-мощным гумусовым горизонтом и морфологически недифференцированным профилем. В нем утрачены генетические признаки природного типа почвы. Верхняя часть профиля нередко перемешана с техногенной пылью и с нижележащими горизонтами. Оценка загрязнения и расчет техногенных нагрузок проводился по целинным серым почвам. В них вблизи завода повышено содержание тех же элементов, что и в снеге.

Химические вещества по их распределению в системе снег — почва в зоне воздействия ИркаЗа делятся на три группы. Первая группа (F, Al, Na, Mn, Ba) характеризуется превышением концентраций в снеге над его фоновыми значениями в 50 и более раз, в почве — превышением в 5 и более раз. Второй группе (Ca, Cu) свойственны превышения над фоном снега в 25-50 раз, почвы — в 3-5 раз; третьей группе (Co, Ni, Sr, Mg, Fe, Ti, V, Cr) — превышения фоновых концентраций в снеге менее 25 раз, в почве — менее трех. В верхнем слое почв для большинства элементов $K_k < 5$, для Al, Na, Mn, Ba K_k равен 5-7, для F — 20.

Наиболее экологически опасный загрязнитель почвенной среды г. Шелехова — фтор максимально накапливается в зоне ИркаЗ, достигая 10-14 ПДК, в санитарно-защитной зоне завода — 3-6 ПДК, в жилой части города — 1-2 ПДК, превышая фоновый региональный уровень.

При сокращении твердой формы загрязнителей по мере удаления от завода количество водорастворимого фтора остается на достаточно высоком уровне и в 6 км от источника в верхнем слое почв снижается лишь до ПДК. Наблюдается снижение

Ключевые слова: загрязнение снега и почв, Иркутский алюминевый завод.

разных форм фтора к концу вегетационного периода, что обусловлено процессами самоочищения почв и вовлечением элемента в биопродукционный процесс.

Максимальна концентрация элементов в органогенных горизонтах, являющихся биогеохимическим барьером. С глубиной по профилю почв содержание элементов уменьшается. Концентрация большинства из них близка к значениям на контрольной территории. Однако содержание F и Na во всем профиле почв превышает фоновое, хотя и резко уменьшается с глубиной вследствие радиальной миграции. По нашим расчетам, доля закрепившегося в почве количества F, Na и Ca, за 50-летний период работы завода, составляет 70-90 %. Несмотря на высокую потенциальную растворимость, эти элементы сорбировались почвой благодаря ее высокой поглотительной способности. Другие элементы, например Al, Mn, Cu, Pb, Ni, почти полностью закрепляются в почве при незначительных потерях.

В исследованиях чувствительности почвенной среды к воздействию ИркаЗ выявлен ряд свойств, чутко реагирующих на загрязнение. В число этих индикаторных свойств входят скорость деструкции целлюлозы, уреазная активность, характеризующая деструкцию органических соединений азота, токсичность почв, обеспеченность почв подвижными формами азота, фосфора, калия, органического вещества. Количественные параметры названных свойств на расстоянии до 0,5 км от завода

Таблица 2

Динамика вещества снеговой воды в зоне до 0,5 км от ИркаЗ, г/дм³

Год	Взвеси	Сухой остаток	Взвеси	Сухой остаток
	С-В направление ветра		Ю-В направление ветра	
1996	7,90	1,18	2,56	0,08
1998	4,60	0,12	2,15	0,09
2000	4,50	0,30	1,87	0,10
2002	1,92	0,02	1,17	0,01
2004	0,62	0,01	0,38	0,01
2006	1,07	0,02	0,34	0,01
2008	2,52	0,30	1,32	0,06
2010	2,78	0,18	1,05	0,11
2012	2,31	0,20	2,03	0,10

более чем на порядок ниже фоновых значений и приближаются к ним по мере удаления от источника загрязнения.

Уреазная активность почв на расстоянии от завода 0,5 – 1 – 2 – 6 км снижается, соответственно, в 11 – 6 – 7 – 3 раза, содержание подвижного P_2O_5 – от 16 мг/100 г до нуля, NO_3 – от 8 до 1 мг/100 г. Токсичность почв, определяемая по всхожести семян и длине проростков тест-растений (сосны, салата), в зоне до 0,5 км ниже контроля на 30 %. В составе почвенного гумуса здесь выявлено снижение в два раза его мобильной фракции — фульвокислот и увеличение в два-три раза доли фракций, связанных с кальцием и оксидами железа. Показатели деградации органических веществ в большей степени коррелируют с F и Pb, содержания минеральных питательных веществ — с Al, Na, Ba, Pb, Cu.

По наблюдениям в разных по степени загрязнения условиях реакция названных свойств (принцип «доза — эффект») отчетливо проявилась в отношении роста концентраций в почвах F, Al, Na, Ba, Pb, Cu, Ni. По другим элементам зависимость «доза — эффект» не выявлена. Реакция названных экологически значимых свойств на загрязнение среды характеризуется ступенчатым трендом, в котором между верхним и нижним уровнями значений выражен сильный перегиб линии тренда. Это означает, что свойство резко реагирует на определенное количество загрязнителя. Точка наиболее стремительного изменения параметра названа критической. Область нагрузок, при которых не отмечается резких изменений свойств, служит проявлением феномена устойчивости, наличия в почве механизмов саморегуляции. С увеличением нагрузки устойчивость теряет свой потенциал и наступает деградация тех или иных свойств.

По величинам зависимости «доза — эффект» можно определить предельно допустимые и предельно недопустимые концентрации элементов в почвах (нижняя и верхняя критические точки на графиках) [10]. По валовой форме они составляют, соответственно, (г/кг): для фтора — 0,66 и 0,84, алюминия — 82 и 93, натрия — 24 и 26; по кислоторастворимой форме (мг/кг): для фтора — 220 и 580, алюминия — 9 и 24, натрия — 250 и 480. Путем пересчета параметров этой зависимости установлены предельно допустимые и недопустимые нагрузки поллютантов (т/км².год), соответственно: для твердого вещества — 2,2 и 10,2,

фтора — 2,4 и 5,2, алюминия — 19,0 и 42,0, натрия — 0,8 и 4,0, бария — 0,04 и 0,84; в кг/км².год: для свинца — 7 и 26, меди — 5 и 20, никеля — 2 и 17. С учетом существующих выбросов необходимая кратность их снижения составляет для предельно допустимых нагрузок до двух раз, по недопустимым — до 13 раз.

Заключение

Из анализа полученных данных следует, что загрязнение атмосферы, снега и почв в результате производственной деятельности ИркаЗ имеет, в основном, локальный характер. Опасная экологическая ситуация на расстоянии до 6 км от источника возникает лишь в неблагоприятных метеорологических условиях. К оз. Байкал поступает незначительная часть общего объема техногенных выбросов завода. В профиле техногенно-трансформированных почв утрачены генетические признаки исходного природного типа. Вблизи ИркаЗ снижена обеспеченность элементами минерального питания растений, заторможена минерализация их отмерших остатков в целинных почвах и, наоборот, усилена в пахотных, изменилось гумусное состояние почв, повысилась их токсичность.

В практических рекомендациях очевидна недопустимость сельскохозяйственного использования санитарно-защитной зоны. Население, испытывающее его воздействие, в частности значительных выбросов фтора, нуждается в специальном медицинском контроле и профилактике техногенно-эндемических заболеваний.

Литература

1. Сизых А.П. Растительность пригородных районов // Геоэкологическая характеристика городов Сибири. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1990. С. 81-95.
2. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
3. Алекин О.А. Руководство по химическому анализу вод суши. / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцева. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 269 с.
4. Теория и практика химического анализа / Под ред. Л.А. Воробьева. М.: ГЕОС, 2006. 399 с.
5. Напрасникова Е.В. Санитарно-микробиологические и биохимические особенности почвенного покрова городов Прибайкалья / Е.В. Напрас-

никова, А.П. Макарова // Сибирский медицинский журнал. 2005. №5. С. 67–71.

6. Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006г. МПР РФ, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Москва – Иркутск: Сибирский филиал ФРУНПП «Росгеофонд», 2007. 420 с.

7. Хавина Л.А. Экономико-географические особенности соразвития моноструктурного города и алюминиевого производства (на примере г. Шелехова и Иркутского алюминиевого завода). Автореф.... дис. канд.геогр.наук. Иркутск, 2007. 20 с.

8. Ветров В.А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В.А. Ветров, А.И. Кузнецова. Новосибирск: Наука, 1997. 237 с.

9. Кузьмин В.А. О химическом составе верховых торфяников и снега Южного Прибайкалья в связи с проблемой загрязнения окружающей среды) // География и природные ресурсы, 1999. №3. С. 59-65.

10. Белозерцева И.А. Нормирование содержания химических элементов в почвах промышленной зоны // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах Юга Сибири. Новосибирск: Наука, 2004. С. 104-112.

I.A. Belozertseva

MONITORING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN A ZONE OF INFLUENCE OF THE IRKUTSK ALUMINIUM FACTORY

Works have been carried out in 1996-2012 on research of pollution of snow and soils in a zone of influence of the Irkutsk aluminium factory. The basic polluting substances of atmosphere and a soil, volume and an area of their distribution are established. Dynamics of technogenic emissions is observed.

Key words: pollution of snow and soils, Irkutsk aluminium factory.