

УДК 550.42:631.41

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРО-
ЗОЛЕЙ В РАЙОНАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОЦЕНКА
ВЛИЯНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ: НОВЫЙ ПОДХОД.**

**PECULIARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOS-
PHERIC AEROSOLS IN AREAS OF INDUSTRIAL IMPACT, ASSESSMENT
OF THE IMPACT OF TERRESTRIAL SOURCES: A NEW APPROACH.**

ПРОСЕКИН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ,

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

БЫЧИНСКИЙ ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ,

кандидат геолого-минералогических наук,

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

ЧУДНЕНКО КОНСТАНТИН ВАДИМОВИЧ,

доктор технических наук,

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

PROSEKIN SERGEY NIKOLAEVICH,

A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS.

BYCHINSKY VALERIY ALEKSEEVICH,

Candidate of geological mineralogical sciences,

A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS.

CHUDNENKO KONSTANTIN VADIMOVICH,

doctor of technical science,

A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS.

Опираясь на результаты съемок предыдущих лет, на территории агропромышленного комплекса было выделены зоны с высокой техногенной нагрузкой. В снеговой воде определено содержание нитратов, нитритов, гидрокарбонатов, pH, а также микро и макрокомпонентов. Метод физико-химического моделирования позволяет решать вопрос о причинах специфики геохимических ассоциаций элементов в промышленных выбросах, разделить источники поступления одного и того же элемента и оценить возможности его накопления в той или иной среде, определив формы его существования. ГИС анализ внутреннего строения зон загрязнения позволило установить закономерности формирования в этих зонах геохимически когерентных ассоциаций токсичных элементов. Определены отличия загрязнения сельскохозяйственных районов, районов алюминиевой промышленности и предприятий теплоэнергетики. Установлены формы существования элементов поллютантов, в которых они концентрируются в природных водах и почвах. Это позволяет оценить потенциальную токсичность соединений, определить их миграционные способности и рассчитать реальную техногенную нагрузку. Топливо-энергетический комплекс поставляет в окружающую среду Si, Al, Fe, Mg, Mn, P, Zn, Cr, Cu, Ca, Sr в основном в виде твердых аэрозолей. Выбросы Иркутского алюминиевого завода отличаются высокими содержаниями Al, As, Ni, F, Cd, Be, Na, F, Li. В результате разработана методика ГИС-технологии для получения геопространственных данных при оценке состояния экосистем учитывающая формы существования токсикантов.

Based on the results of previous years' surveys, areas with high technogenic load were identified in the territory of the agroindustrial complex. The content of nitrates, nitrites, hydrocarbonates, pH, as well as micro

and macro components was determined in the snow water. The method of physicochemical modeling makes it possible to solve the question of the causes of specific geochemical associations of elements in industrial emissions, to separate the sources of the same element and assess the possibility of its accumulation in a particular environment, determining the forms of its existence. GIS analysis of the internal structure of pollution zones allowed to establish patterns of formation in these areas geochemically coherent associations of toxic elements. Differences in the pollution of agricultural areas, areas of aluminum industry and heat power plants have been determined. Forms of existence of pollutant elements in which they are concentrated in natural waters and soils were determined. It allows to estimate potential toxicity of compounds, determine their migration abilities and calculate real anthropogenic load. The fuel and energy complex supplies to the environment Si, Al, Fe, Mg, Mn, P, Zn, Cr, Cu, Ca, Sr mainly in the form of solid aerosols. Irkutsk aluminum smelter emissions are characterized by high content of Al, As, Ni, F, Cd, Be, Na, F, Li. As a result, the methodology of GIS-technology for obtaining geospatial data in assessing the state of ecosystems, taking into account the forms of existence of toxicants.

Ключевые слова: физико-химическое моделирование, техногенное загрязнение, фториды, пылегазовые эмиссии предприятий, геоинформационные системы.

Key words: physical-chemical modeling, technogenic pollution, fluorides, dust and gas emissions from plants, geographic information systems.

Сложность определения роли аэрозолей в изменении состояния окружающей среды связана с отсутствием статистически достоверной информации о пространственно-временной изменчивости их концентраций в атмосфере, и физико-химических свойствах [1]. В твердых частицах аэрозолей над Восточной Сибирью преобладают Si, Al, Fe, Ca, Mg. Источники их поступления зависят от сезона года, однако основные это является почва и горные породы. В зимний период, возрастает вклад элементов, поступающих из антропогенных источников S, As, Pb, Zn, Hg.

Воздушные массы, формирующиеся над Северным Ледовитым океаном и приносящие аэрозоли представленные водорастворимыми соединениями (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} и др.). Большинство частиц имеет размер $< 0,7$ мкм. Наряду с серой, натрием, хлором, повышено содержание азота [2]. Воздушные массы, формирующиеся над степными и полупустынными районами Монголии, приносят аэрозоли размером $0,7 - 1,3$ мкм. Поэтому в составе аэрозолей преобладают компоненты терригенного происхождения. Химический состав аэрозолей на фоновой станции определяется исключительно глобальным переносом. В снеговой воде этой станции обнаружены NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , содержание твердых частиц, незначительно (табл. 1).

Особенности агропромышленной зоны, в которой проводилось исследование, определяют ведущую роль терригенных и антропогенных источников в образовании аэрозолей, с высоким содержанием Si, Al, Ca, Na, Mg и Fe. В минеральном составе аэрозолей преобладают алюмосиликаты ($> 40\%$), гипс (14%) и Fe-обогащенные частицы (около 5%), 25% частиц представлены органическим веществом.

Подкисление атмосферных осадков (pH 4,3-6,8) происходит как за счет техногенных выбросов, так и вследствие природных процессов. В осадках с низкой минерализацией кислотность определяется не содержанием анионов, а отношением главных ионов. Сократилась доля ионов Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , следовательно выросла относительная доля SO_4^{2-} , NO_3^- и NH_4^+ . Поэтому осадки в фоновых районах стали более кислыми чем снеговые воды из промышленно нагруженных районов.

Следовательно, в геоэкологических исследованиях, использующих для оценки техногенной нагрузки атмосферные осадки и аэрозоли, необходимы методы, позволяющие различать вещества природного и техногенного происхождения. В первую очередь это касается твердых

частиц (ТЧ). Требуется учитывать, что источниками фтора, хлора, азота, серы и легкорастворимых компонентов, например, сульфатов натрия являются не только почвы, но и теплоэлектростанции, металлургические производства, автомобильный транспорт. Исследование геохимических особенностей аэрозолей необходимо для определения закономерностей формирования их состава и обнаружения источников потенциально токсичных элементов.

Таблица 1. Средневзвешенный химический состав атмосферных осадков на станциях мониторинга 1998-2002 гг. (мг/л).

Станция	Осадки	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
Иркутск	Снег	6,19	7,01	2,54	1,46	0,86	0,3	4,3	0,39	0,86
	Дождь	1,94	4,14	1,79	0,57	0,19	0,2	1,74	0,22	0,9
Листвянка	Снег	0,39	2,06	1,81	0,25	0,16	0,17	0,77	0,12	0,37
	Дождь	0,42	1,67	1,51	0,45	0,13	0,24	0,54	0,1	0,43
Монды	Снег	2,09	1,35	0,69	0,32	0,13	0,13	1,01	0,12	0,29
	Дождь	0,53	0,92	0,73	0,19	0,05	0,09	0,25	0,04	0,43

ТЧ естественного и антропогенного происхождения отличаются составом и размерами. Частицы антропогенного происхождения могут преобразовываться в газ, конденсат или формировать вторичный аэрозоль. Такие частицы - результат технологических процессов. Поэтому, данные об особенностях источников аэрозолей обязательны для исследования процессов их взаимодействия с окружающей средой в региональных и глобальных масштабах.

У большинства частиц размер варьирует в интервале 0,7–2,0 мкм, частицы фотохимического происхождения имеют радиус 0,1–1 мкм. В виде ТЧ на земную поверхность поступает легкорастворимые компоненты: сульфаты натрия, карбонаты кальция и магния. Соотношение между растворимыми и нерастворимыми формами для отдельных элементов изменяется в несколько раз.

Дальность переноса частиц зависит от минералогического состава - надежного индикатора источника эолового материала. Главный компонент континентальных аэрозолей - это алюмосиликаты. Содержание полевых шпатов составляет в среднем около 10 %. Из глинистых минералов в аэрозолях наиболее часто встречаются иллит, хлорит и каолинит.

Химический состав аэрозолей определяется их источниками и превращениями, которым они подвергается в атмосфере. Выделены пять типов ТЧ: кварц; алюмосиликаты; частицы обогащенные Fe; остеклованные сферы сгорания, обогащенные Al, Fe, P, S и Ni, Cr, As, Pb, Zn и другими микроэлементами; частицы сажи. Зерна алюмосиликатов диаметром 1–5 мкм имеют неправильную форму. Это минеральные частицы почвы (полевые шпаты и глинистые минералы). Зерна кварца (1 – 3 мкм) имеют форму, близкую к сферической. Алюмосиликатные и железистые сферы сгорания размером 0,3–3 мкм, обогащены Ni, Cu, Cr, Zn, Ca, Mn и Sb.

Результаты исследования. В ранее выполненных исследованиях установлены элементы-маркеры, позволяющие определить происхождение аэрозольных частиц, и участки их накопления (депоцентры) [3, 4]. Основными маркерами загрязнения окружающей среды алюминиевым производством являются Al, Na, As, Li, Ni, F, Cd, Be. Теплоэнергетический комплекс – источник Si, Fe, Mg, Mn, B. Под воздействием автотранспорта, дорожного и жилищного строительства накапливаются V, Zn, Cd, Pb, Ca, Cr, Mn, Co, Cu, C, S.

Вследствие этого в твердом осадке снега в Шелеховской промышленной зоне преобладают частицы техногенного происхождения: оксиды, силикаты и фториды алюминия, оксиды железа, а также сульфиды железа, обогащенные тяжелыми металлами. Частицы с высоким содержанием фтора обнаружены в снеге районов, непосредственно прилегающих к алюминие-

вому заводу. Присутствие оплавленных гранул магнетита, кварцевого стекла, оксида алюминия, муллита, образующихся при высоких температурах, указывает на то, что эти частицы поступают в окружающую среду с выбросами ТЭС. Таким образом, минеральный состав аэрозолей позволил установить степень техногенной нагрузки, а микроэлементный состав и аморфизированность частиц - их происхождение. Накопление таких элементов как Cl, As, Pb, Cr, Zn определяется в большей мере их сорбцией на поверхности частиц, следовательно, основная доля техногенной нагрузки – это выбросы алюминиевой промышленности и топливно-энергетического комплекса.

Таким образом, установлены критерии, позволяющие определить происхождение твердых частиц. Если в твердом осадке снега преобладают оплавленные частицы муллита, магнетита, аморфного кварца, фторид алюминия, ферросилит, то, несомненно, это аэрозоли, образовались в высокотемпературных технологических процессах. Строго взаимосвязанные, высокие содержания фтора, алюминия, мышьяка, бериллия, кадмия также свидетельствуют о техногенном происхождении твердых частиц.

Содержание твердого осадка ($0,3\text{--}700\text{ мг/дм}^3$) в снеге и минерализация снеговых вод ($12,26\text{--}64\text{ мг/л}$) на территории района исследования меняются в широких пределах. В среднем величина пылевой нагрузки составляет $72\text{ мг}/(\text{м}^2 \times \text{сут})$, что превышает фон в 9 раз. Вследствие этого аэрозоли Шелеховского промышленного района в 2–11 раз обогащены Si, Al, F, Na, Fe, Mn, Be относительно локального фона. Превышение их содержания над локальным фоном происходит за счет выбросов алюминиевого завода и теплоэнергетических комплексов, тогда как Cu, Pb, Zn, Hg, Cr поступают в атмосферу из локальных источников, связанных, главным образом, с автотранспортом.

В радиусе 1,5–2 км от алюминиевого завода содержание фтора в снеговой воде превышает фоновые показатели в 12–20 раз. Площадь загрязнения фтором, поступающим с твердыми аэрозолями, значительно меньше, тем не менее, его содержание не только превышает фоновые значения, но и ПДК для почв. Преобладающие формы его существования в газопылевых выбросах – это твердые частицы AlF_3 и газы NaF, HF, CaF_2 .

Оценить последствия воздействия газопылевых выбросов промышленных производств можно только в том случае если существует возможность предвидеть как будут изменяться их компоненты при взаимодействии с почвами и природными водами. Для решения таких задач использовался программный комплекс «Селектор», позволяющий моделировать физико-химические процессы. Результаты в большинстве случаев уникальны, поскольку позволяют не только исследовать растворение – переотложение компонентов, но и перераспределение элементов между различными фазами, рассчитать физико-химические условия этих переходов: температуру, давление, химические потенциалы, Eh, pH.

Физико-химическая модель включает 31 химический элемент: C, Cd, Cl, N, S, Sc, As, Hg, Li, Sb, Sn, Sr, B, Be, Ca, Cr, F, Ni, P, Pb, Rb, Al, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, V, Zn, H, O, E (e – электрон) и 850 соединений (включая газы, водный раствор и твердые фазы). Термодинамические свойства растворенных веществ и твердых фаз взяты из (Helgeson et al., 1998; Дорогокупец, Карпов, 1984), газов (Reid et al., 1977).

Исследовалось взаимодействие талой воды с твердым осадком снега. Определялись формы существования химических элементов в водном растворе и минеральный состав равновесных с ним твердых фаз. Критерием адекватности модели является соответствие результатов расчетов химико-аналитическим данным. В первую очередь, это общая минерализация, pH, Eh и содержание макрокомпонентов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-). Изменение соотношения вода – твердый осадок позволяет исследовать основные закономерности постепенного преобразования элементов, поступающих в окружающую. Подобран сценарий взаимодействия твердый осадок снега – раствор, описывающий изменение соотношения пылевой нагрузки и количе-

ства влаги. Количество твердого осадка, накопленного в снеге (n грамм), вступая во взаимодействие с влагой, изменялось по экспоненциальной шкале от 1×10^{-7} (микрограмма), до 1×10^0 всей массы поступившей пыли (в пересчете на 1 кг H_2O снеговой воды).

Применение методов физико-химического моделирования позволило определить формы существования потенциально токсичных элементов в водном растворе и минеральных фазах и выделить вклад естественных и антропогенных источников в составе аэрозолей в Иркутско-Шелеховском промышленном районе. Концентрации ионов щелочных и щелочноземельных металлов в аэрозолях возрастают при поступлении воздушных потоков из континентального воздуха районов Монголии, а сульфат- и нитрат-ионов - при взаимодействии воздушных масс с выбросами промышленных предприятий.

На первых стадиях взаимодействия пылеаэрозолей со снеговыми водами образуются гиббсит и каолинит. Поскольку фтор и фосфор в выбросах присутствуют в виде высокорастворимых соединений - $NaAlF_4$, AlF_2O , HF , AlF_3 , SiF_4 , они легко растворяются с образованием флюорита и фторапатита. Стронций, фтор, кадмий также растворяются и постепенно выносятся из почв. Никель, медь, марганец, хром накапливаются в труднорастворимых формах. В зонах с повышенной техногенной нагрузкой возрастают содержания в снеговой воде таких ионов: SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . В значимых количествах образуются $Be(OH)^+$, NiF^+ , $Ni(OH)^+$, $PbCl^+$, $Pb(OH)^+$, PbF^+ , $Fe(OH)_4^-$, $Zn(OH)^+$, ZnF^+ , CuF^+ , $Cu(OH)^+$, $MnCl^+$, MnF^+ , $MnSO_4^0$, $CdCl^+$, $Cd(OH)^+$. Алюминий и железо, существуют в виде AlF_2^+ , AlF_3^0 и $Fe(OH)_4^-$, так как растворимость этих элементов в условиях фторидного загрязнения возрастает. В твердом осадке накапливаются новообразованные минеральные фазы: гиббсит, каолинит, манганит и фторапатит, Zn_2SiO_4 , $Be(OH)_2$, As_2O_5 , $Cu(OH)_2$, партриджит, CrO_2 , CaF_2 , фторапатит, на завершающих – Ni-амезит, касситерит (рис. 1.). Следовательно, преобразование аэрозолей в зоне непосредственного воздействия алюминиевого завода отличается от процессов, протекающих на фоновых территориях: здесь основные токсичные элементы накапливаются в водном растворе.

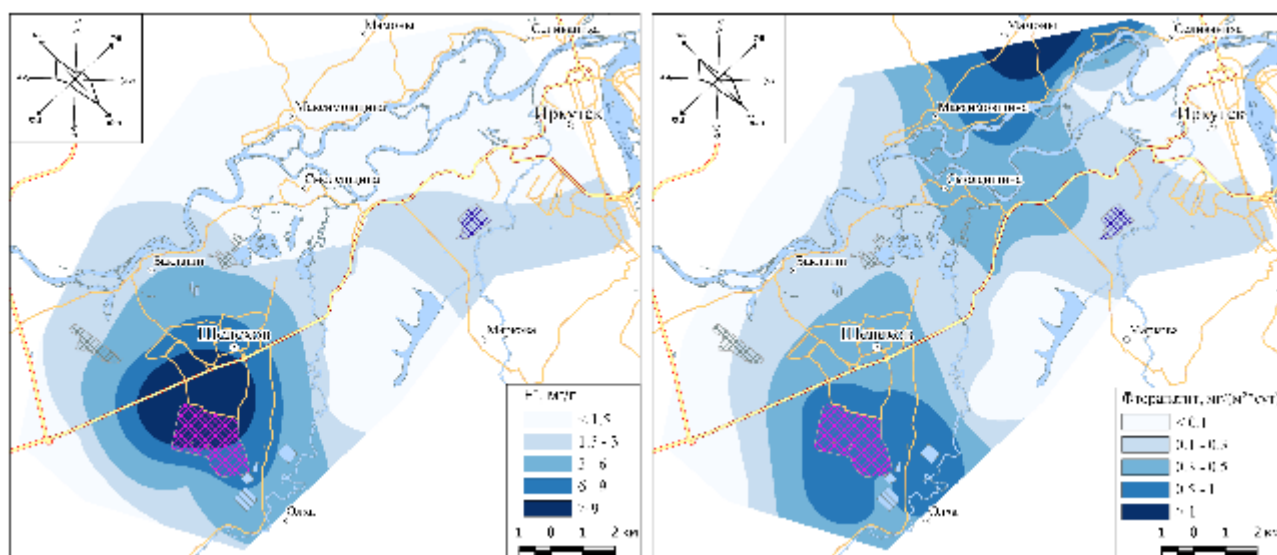


Рис. 1. Схемы пространственного распределения содержания фтора F^- (а) и фторапатита (б)

Твердые аэрозоли на фоновых участках представлены каолинитом, мусковитом, карбонатами терригенного происхождения (рис. 2.). Снеговые воды имеют слабокислую pH (5,8) и

малую минерализацию, что объясняется низкой для данного района пылевой нагрузкой. Преобразование твердого осадка снега незагрязненных территорий приводит к незначительному увеличению минерализации снеговой воды (до 38 мг/л), pH становится слабощелочным (8,0). Содержание Ca, Na, F, Zn, Li, Be, S, Ca, Cl в водном растворе остается постоянным, рост концентраций Si, Pb, Cd, B, Sr, Mg, Fe незначителен. Основные формы существования элементов в растворе – обычные катионы и гидроокислы.

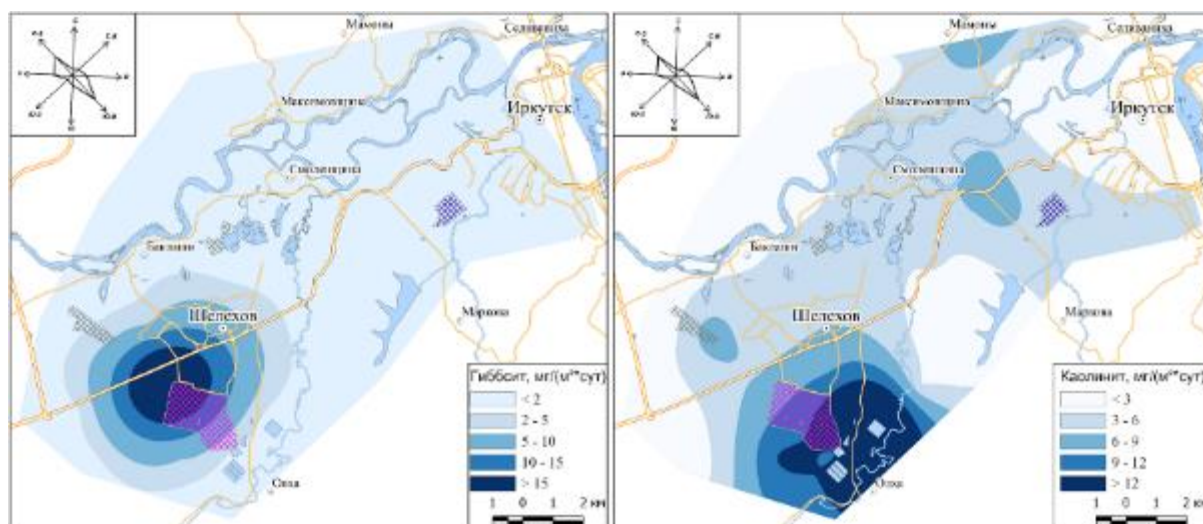


Рис. 2. Схемы пространственного распределения величин среднесуточного притока гиббсита (а) и каолинита (б)

Таблица 2. Источники поступления форм существования химических элементов согласно результатам моделирования.

Источник	Водный раствор	Твердые частицы
Иркутский Алюминиевый завод	AlF_2^+ , AlF_3 , $\text{Al}(\text{OH})_2\text{F}^0$, HAlO_2^0 , Na^+ , NaCl^0 , NaSO_4^- , MgF^+ , Li^+ , Sr^{2+} , SrF^+ , HPO_4^{2-} , Ni^{2+} , NiF^+ , Be^{2+} , BeOH^+ , Cu^{2+} , CuOH^+ , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, Pb^{2+} , PbF^+ , $\text{Pb}(\text{OH})^+$, Zn^{2+} , HAsO_2^0 , Cd^{2+} , CdCl^+ , CdF^+ , F^- , H_2VO_4^-	$\text{Al}(\text{OH})_3$ (гиббсит), $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (каолинит), $\text{Be}(\text{OH})_2$, H_3AsO_3 , As_2O_5 , SnO_2 (касситерит), $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (фторапатит)
Ново-Иркутская ТЭЦ	SiO_2^0 , HAlO_2^0 , MgCl^+ , MgSO_4^0 , CaCl^+ , CaSO_4^0 , Li^+ , BaSO_4 , Sr^{2+} , CrO^+ , Be^{2+} , BeO^0 , BeOH^+ , CuOH^+ , Rb^+ , Zn^{2+} , ZnO^0 , ZnOH^+ , Cd^{2+} , $\text{Cd}(\text{OH})^+$, CdCl^+ , Cl^-	Mn_2O_3 (партриджит), $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (фторапатит)
Частный сектор	AlO_2^- , $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, HAlO_2^0 , MgCl^+ , MgHCO_3^+ , MgSO_4^0 , Ca^{2+} , CaCl^+ , CaSO_4^0 , Ba^{2+} , Sr^{2+} , SrCO_3^0 , $\text{Sr}(\text{HCO}_3)^+$, HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , BO_2^- , $\text{B}(\text{OH})_3^0$, $\text{B}(\text{OH})_4^-$, Mn^{2+} , MnSO_4^0 , BeO_2^{2-} , CuO^0 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})^+$, Rb^+ , ZnO^0 , ZnOH^+ , $\text{As}(\text{OH})_3^0$, $\text{Cd}(\text{OH})^+$, Cl^-	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (каолинит), $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (талек), PbCrO_4 (крокоит), $\text{Be}(\text{OH})_2$, BeO , SrCO_3 , SnO_2 (касситерит), $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (фторапатит), Zn_2SiO_4 (виллемит)
Автотранспорт	MgHCO_3^+ , $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$, Ba^{2+} , $\text{B}(\text{OH})_3^0$, Mn^{2+} , MnSO_4^0 , K^+ , $\text{Pb}(\text{OH})^+$, H_2VO_4^-	PbCrO_4 (крокоит)

Определение форм существования и путей преобразования токсичных элементов, поступающих в окружающую среду с газопылевыми выбросами - обязательный этап современных

геоэкологических исследований. Однако, без современных методов геоинформационных систем (ГИС), позволяющих визуально представить масштабы техногенной нагрузки сделать обоснованный вывод о состоянии окружающей среды невозможно.

С помощью разработанной методики были визуально представлены ореолы распространения форм существования потенциально опасных элементов. Это позволило точно определить степень техногенной нагрузки, поскольку некоторые элементы не являются токсичными, в то время как их формы потенциально опасны.

Некоторые элементы, такие как алюминий, натрий и бериллий присутствуют в выбросах различных источников. Физико-химическая модель позволила нам показать, что они поступают в почвы и воды разных формах.

С целью определить ассоциации форм химических элементов, принадлежащие к различным источникам, были выполнены кластерный и факторный анализы результатов физико-химического моделирования, а также построены поля распределения. В результате получены данные, позволившие определить формы существования химических элементов, приуроченные к алюминиевому заводу, теплоэлектростанции, частному сектору и автотранспорту (табл. 2).

Заключение. Информативность массовых химико-аналитических данных не соответствует затратам на их получение, поскольку в значительной части снегогеохимических проб концентрации загрязнителей незначительно отличаются от фоновых значений. Поэтому регулярные снегомерные съемки следует проводить на локальных участках агропромышленной территории, где депонируется аэрозольная нагрузка.

Опираясь на результаты съемок предыдущих лет, на территории агропромышленного комплекса было выделено N полигонов, на которых было отобрано 93 проб. В снеговой воде определено содержание нитратов, нитритов, гидрокарбонатов, pH, а также микро и макрокомпонентов. Построены карты распределения основных компонентов загрязнителей.

Разработанный метод позволяет решать вопрос о причинах специфики геохимических ассоциаций элементов в промышленных выбросах, разделить источники поступления одного и того же элемента и оценить возможности его накопления в той или иной среде, определив формы его существования.

Моделирование внутреннего строения зон загрязнения позволило установить закономерности формирования в этих зонах геохимически когерентных ассоциаций токсичных элементов. Образ геохимического поля, который используется для интерпретации результатов геохимического картирования, становится более точным при использовании данных физико-химического моделирования в пространственной интерполяции.

Определены ассоциации элементов-идентификаторов главных источников загрязнения окружающей среды. Несмотря на то, что отдельные элементы из разных источников совпадают (F, Be, Al), формы их существования различны. Определены принципиальные отличия загрязнения сельскохозяйственных районов, районов алюминиевой промышленности и предприятий теплоэнергетики. Установлены формы существования элементов поллютантов, в которых они концентрируются в природных водах и почвах. Следовательно, можно заранее предсказать какие вещества будут накапливаться в техногенных зонах, а какие выносятся вовне. Это позволяет оценить потенциальную токсичность соединений, определить их миграционные способности и рассчитать реальную техногенную нагрузку.

Топливо-энергетический комплекс в сочетании с частным сектором поставляет в окружающую среду такие элементы как Si, Al, Fe, Mg, Mn, P, Zn, Cr, Cu, Ca, Sr в основном в виде твердых аэрозолей. Выбросы Иркутского алюминиевого завода отличаются высокими содержаниями Al, As, Ni, F, Cd, Be. Снеговым водам зоны воздействия ИркАЗ свойственны высокие содержания Na, F, Be, Li, Ni, Al, As. Следовательно, загрязнение окружающей среды таким

токсичными элементами как F, Be, Na в Иркутско-Шелеховском промышленном районе носит локальный характер.

Модели локального и регионального масштабов апробированы при оценке зон загрязнения от крупных промышленных предприятий Сибирского региона. Формируется компьютерная база данных по характеристикам атмосферных аэрозолей.

Результаты пятилетних исследований показали, что атмосферные аэрозоли Иркутского промышленного района динамическая система, свойства. Накопленный полевой материал позволил подготовить модель распределения твердых частиц и растворенных компонентов в атмосферных аэрозолях. Для оценки длительного загрязнения почвы, и снежного покрова предложены физико-химические модели преобразования атмосферных аэрозолей, с помощью которых определены формы накопления и миграции токсичных элементов [5]. Предложена методика ГИС-технологии для получения геопространственных данных при оценке состояния экосистем учитывающая формы существования токсикантов. Совокупность полученных полевых данных и теоретического обобщения с использованием термодинамических моделей позволила дать корректный прогноз процессам техногенного воздействия и получить полную картину пространственно-временной изменчивости атмосферных аэрозолей на территории Иркутско-Шелеховского промышленного района.

Результаты этого исследований необходимы для разработки оптимальной программы будущих исследований и в Сибирском регионе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-45-383003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлев Л.С. Механизмы образования и распада атмосферных аэрозолей и облачности и их экологическое значение // Биосфера. – 2013. - №2. – С. 182-210.
2. Маринайте, И. И. Распределение полициклических ароматических углеводородов в природных объектах на территории рассеивания выбросов иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов, Иркутская обл.) / И. И. Маринайте, А. Г. Горшков, Е. Н. Тараненко, Е. В. Чипанина, Т. В. Ходжер // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. - № 21. – С. 143-154.
3. Просекин С.Н., Ощепкова А.В., Бычинский В.А. Современные методы оценки техногенной нагрузки на урбанизированные территории средствами геоинформационных систем и физико-химического моделирования // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. – 2020. – № 3. – С. 182-187.
4. Просекин С.Н., Филимонова Л.М., Бычинский В.А. Оценка воздействия алюминиевых производств на окружающую среду с помощью ГИС и ФХМ // Вопросы естествознания. – 2018. – № 2 (16). – С. 100-106.
5. Prosekin S.N., Bychinsky V. A., Chudnenko K. V., Amosova A. A., Znamenskaya T. I. Physico-chemical Features of Soil-Forming Processes in Conditions of Technogenic Load // Geography and Natural Resources, 2020, Vol. 41, No. 2, pp. 159-165.

© Просекин С.Н., Бычинский В.А., Чудненко К.В. 2020.