



УДК 504.064.36:550.4:543.4

## **Кристаллические фазы аэрозолей в природно-технических системах Прибайкалья**

В. П. Рогова ([dekanat@geogr.isu.ru](mailto:dekanat@geogr.isu.ru)),  
В. А. Скворцов ([dekanat@geogr.isu.ru](mailto:dekanat@geogr.isu.ru)), Н. В. Федорова, Д. А. Чурсин

**Аннотация.** Впервые для практического использования разработана развернутая методика дифрактометрического анализа снегогеохимических проб, позволившая изучить состав твердых фаз аэрозолей на территории отдельных городов и промышленных центров Иркутской области.

Установлено, что твердые частицы обладают фиброгенной активностью, канцерогенными свойствами и являются индикаторами природно-технических систем.

**Ключевые слова:** кристаллические фазы аэрозолей, природно-технические системы, индустриальный центр Прибайкалья.

### **Введение**

Прибайкалье характеризуется наиболее высокой степенью индустриализации. Здесь, на относительно небольшой территории, сосредоточены мощные предприятия теплоэнергетики, химической и нефтехимической промышленности, цветной металлургии, стройиндустрии, машиностроительных и металлообрабатывающих производств. По многолетним данным Иркутского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ИУГМС) Иркутск, Ангарск и Шелехов регулярно входят в приоритетный список 45 городов России с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, а города Усолье-Сибирское и Черемхово входят в перечень городов с высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна.

Отдельные, наиболее существенные результаты, которые были получены за последнее время в результате изучения загрязнения окружающей среды аэрозолями, освещены в работах отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 4, 5, 8, 12–25]. Их исследования были посвящены определению динамики рассеивания аэрозолей в пространстве в зависимости от физических свойств, химического состава и метеорологической обстановки. Подробно изучены типы атмосферного аэрозоля (сульфатный, пылевой, углеводородный, городской и биогенный). Фазовый минеральный состав аэрозолей на территории индустриальных городов практически не изучался. И если рассматривать аэрозоль как природно-техногенную физико-химическую дисперсную систему, состоящую из газообразной, твердой и

жидкой фаз, то его свойства определяются не только состоянием и свойствами дисперсионной фазы, но и взаимодействием между ними, в соответствии с законами термодинамики.

Установлено, что только долговременное воздействие различных техногенных кристаллических фаз, находящихся в составе аэрозолей и образующихся в результате деятельности различных промышленных предприятий, является причиной многих профессиональных заболеваний. Поэтому изучение проблемы загрязнения приземной атмосферы твердофазными частицами аэрозолей представляется актуальным [19].

### **Объекты исследования**

Объектами исследований в Прибайкалье являлись природно-технические системы теплоэнергетической, химической, металлургической, железнодорожной и горнодобывающей отраслей. Предметом – твердые фазы аэрозолей, образующиеся в результате их деятельности.

Топливо-энергетический комплекс объединяет предприятия энергетики, угольной и нефтеперерабатывающей промышленности, оказывающие существенное влияние на состояние окружающей природной среды. На их долю на территории Иркутской области приходится 48,6 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, а для ряда городов Восточной Сибири этот показатель составляет 70 % и более [3, 9]. Таким образом, выбросы теплоэнергетики являются одним из основных источников как первичных, так и вторичных аэрозолей в городах Восточной Сибири. Из теплоисточников наиболее изученными с экологической точки зрения являются ТЭС и мощные котельные, оснащенные либо газомазутными установками, либо котлами с пылеугольным сжиганием, которые характеризуются стационарными условиями горения. В то же время в эксплуатации находится огромное количество котлов малой мощности со слоевым типом сжигания и периодической загрузкой твердого топлива. Для каждого из городов Иркутской области, в зависимости от специфики его инфраструктуры и характера промышленности, существуют свои экологические проблемы. Результаты мониторинга атмосферного воздуха, осуществляемого в течение семилетнего периода [6, 7], позволили рассмотреть динамику изменения состояния воздушного бассейна ряда промышленных городов Иркутской области (табл. 1).

Самый высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха среди промышленных городов области – в г. Ангарске и в г. Братске. Основные предприятия, влияющие на состояние приземного слоя атмосферы в г. Ангарске – ИТЭЦ-1, ИТЭЦ-9, ИТЭЦ-10, ОАО «Иркутскэнерго» и ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», последняя выбрасывает наибольшее количество специфических загрязняющих веществ. В г. Братске загрязнителями воздуха являются ОАО «РУСАЛ БрАЗ», предприятия теплоэнергетики ИТЭЦ-6-7, ООО «Братский завод ферросплавов», ОАО «Группа ИЛИМ». Причем, выбросы первого здесь значительно доминируют.

Таблица 1

Динамика суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников промышленных предприятий по основным городам Иркутской области, тыс. т/год

Город	Годы						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Ангарск	129,9	137,3	189,5	136,9	130,0	141,5	165,6
Братск	101,2	90,8	101,8	82,7	92,8	114,3	124,4
Зима+Саянск	24,7	23,5	32,8	23,8	24,0	23,6	25,2
Иркутск	50,5	51,8	71,0	47,3	17,9	17,2	15,8
Усолье-Сибирское	33,9	33,7	31,6	28,3	31,9	32,5	30,4
Черемхово	11,2	8,2	13,2	9,6	9,5	7,4	6,2
Шелехов	27,7	27,2	33,6	28,5	28,2	28,6	27,6

В г. Иркутске располагаются предприятия более чем 25 отраслей промышленности. Основной вклад в выбросы от стационарных источников вносят предприятия теплоэнергетики – Ново-Иркутская ТЭЦ, Иркутские тепловые сети, МП «Иркутсктеплоэнерго» и около 300 мелких котельных.

В г. Усолье-Сибирское – центре химической промышленности и энергетики находится около сорока различных предприятий, способных создавать приземные концентрации загрязняющих веществ, превышающие гигиенические нормативы. Самыми значительными из них являются ИТЭЦ-11 и ОАО «Усольехимпром», на долю которых приходится максимальное количество от всех выбросов в атмосферу. Кроме того, город расположен вблизи с другими крупными промышленными центрами, такими как Ангарск и Иркутск.

Крупным источником загрязнения атмосферы на территории Шелеховского района является Иркутский алюминиевый завод, расположенный в г. Шелехове. Наиболее опасными загрязнителями ОАО «ИркАЗ-СУАЛ» являются элементы первого класса опасности – фтор и бериллий, присутствующие в солевой фазе.

Особое место среди источников загрязнения в Южном Прибайкалье занимает Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК). Он дает большое количество вредных выбросов в атмосферу непосредственно на побережье Байкала. Загрязнение твердофазными выбросами в Байкальске относительно невысокое по сравнению с другими городами Южного Прибайкалья. Основное загрязнение в районе БЦБК происходит элементами и соединениями в растворимой форме и газами, что придает выбросам особую опасность для окружающей среды, включая и оз. Байкал. Наиболее опасными из рассматриваемых выбросов являются кислотные компоненты –  $SO_4$  и хлор. Кроме кислотных компонентов в ореоле загрязнения БЦБК в солевой фазе установлен широкий круг химических элементов, включая тяжелые металлы.

Источниками загрязнения воздушного бассейна являются и горнорудные природно-технические системы. Загрязнение атмосферы происходит в

результате взрывных работ в карьерах, в процессе транспортировки и дробления горных пород и образовавшихся от них отходов (отсева щебня). На территории Иркутской области существует несколько подобных предприятий: в п. Ангасолке, г. Слюдянке, г. Братске и на севере области. С точки зрения загрязнения атмосферы наибольшую опасность представляет Ангасольский щебеночный завод, расположенный в 2–3 км от оз. Байкал. Над акваторией озера функционирует сложная система горно-долинных ветров и бризов, действует механизм «засасывания» воздушных масс из верхних слоев атмосферы. Все это способствует переносу загрязнений твердофазных частиц с территории карьеров.

### **Методы отбора проб и исследований**

Снежный покров является индикатором атмосферного воздуха. Отбор проб снежного покрова позволяет количественно оценить динамику загрязнения атмосферы и почв за зимний сезон. Помимо изучения количественной нагрузки твердых частиц в приземной атмосфере, анализируется их химический состав.

Особенностью наших исследований является изучение фазового состава твердых кристаллических частиц аэрозолей, установленных в снежном покрове на вышеуказанных территориях. Отбор проб снеговых выпадений проводился в соответствии с «Методическими рекомендациями по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами», разработанными в 1982 г. Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва), ведомственными инструкциями Гидромета, опытом работ академических институтов Иркутского научного центра и БФ «Сосновгеология». Пробы отбирались на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям, к ТЭС, а также на фоновых территориях (за городом). Отбор проб снега проводился в 50–100 и более метров от автомагистралей, с тем, чтобы избежать попадания в пробу выбросов от автотранспорта. В черте населенных пунктов пробы снега отбирались на местах, где снежный покров не нарушен. Снегогеохимические съемки проводились в конце сезона в период устойчивого снежного покрова (февраль–март), перед началом подтаивания, когда снег не начал еще гранулироваться. Геохимические пробы снега весом 5–7 кг отбирались в полиэтиленовые пакеты из лунок 0,5 x 0,5 м на всю мощность снежного покрова 0,4–0,6 м, за исключением приземного слоя высотой 0,1 м, где возможно взаимодействие снежного покрова с почвеннорастительным слоем.

Для определения минерального состава твердого остатка снегогеохимических проб использовался порошковый дифрактомер «ДРОН-2» в БФ «Сосновгеология». Условия съемки: излучение  $\text{Cu}$ , напряжение 30 кВ, ток 20 мА. Для диагностики использовалась картотека Объединенного комитета по порошковым дифракционным стандартам 1982 г., США (Inorganic. JCPDS. Swarthmore, Pennsylvania, USA, 1982). Анализы выполнялись в Центральной аналитической лаборатории ФГУП «Урангеологоразведка»,

Байкальском филиале «Сосновгеология» старшим инженером рентгеноструктурного анализа Е. В. Механиковым.

Изучение кристаллических фаз твердых частиц аэрозолей позволило дополнить существовавшую ранее методику исследования снегогеохимических проб, в которой в полученном твердом осадке раньше определялся только химический состав. Определение состава проб осуществлялось в следующей последовательности (рис. 1). В начале проводилось фильтрование талой воды с выделением жидкой и твердой фаз. Жидкая фаза после определения рН делилась на две части. В одной части (1 л воды) количественным химическим анализом определялись катионы, анионы и ртуть, другую часть воды (1 л) выпаривали, а солевой остаток подвергали спектральному анализу на 42 элемента. Твердая фаза на фильтре прокаливалась (озолялась) при температуре 400 °С (для удаления углеродистых веществ), взвешивалась и подвергалась спектральному анализу на 42 элемента. На этом заканчивались исследования снегогеохимических проб по ранее принятой методике.

Мы предлагаем дополнительное исследование твердой фазы с применением дифрактометрии для выявления качественной и количественной оценки техногенных и петрогенных кристаллических фаз. Твердый остаток снегогеохимической пробы делится на две части. Для одной выполняется спектральный анализ на 42 элемента, а для другой рентгеноструктурный количественный фазовый анализ с применением дифрактометров типа ДРОН. Съемкой пробы на дифрактометре устанавливаются все кристаллические образования: техногенные и природные (твердая фаза нерастворимого остатка). После выполнения рентгеноструктурного количественного фазового анализа, если в нерастворимом остатке присутствуют слоистые алюмосиликаты (глинистая фракция), то для их разделения и количественной оценки используется метод приготовления ориентированных препаратов на стекле. Затем для приготовленных проб выполняется рентгеноструктурный фазовый анализ. С целью уточнения глинистых и слюдистых кристаллических фаз производится насыщение их этиленгликолем, с последующей индикацией их на дифрактометре.

По результатам проведенных анализов твердой фазы и глинистой фракции, по высоте пиков на дифрактограммах, полученных в результате отражения рентгеновских лучей от кристаллических плоскостей минералов, определяется суммарное процентное содержание техногенных минералов в пробе. Сравнивают пики между собой и рассчитывают количество всех минералов, принимая их сумму за 100 %. Точность определения состава кристаллических фаз на установке ДРОН-2 составляет 1 %.

Достоверность определения кристаллических фаз (калиевые полевые шпаты, корунд, кварц) рентгеноструктурным количественным фазовым анализом, установленных в снежном покрове в городах Иркутской области в различные периоды исследований, оценивалась на основании расчетов критериев: Стьюдента, ничтожной погрешности и знаков. Оценка правильности РКФА, установленных в процессе исследований кристаллических

фаз различного происхождения выполнялась на основе внутреннего статистического контроля по результатам измерений получаемых двумя принципиально различными методами (РКФА и химическим методом).

### Результаты исследований

По объему выбросов, особенно твердых кристаллических фаз аэрозолей, топливно-энергетический комплекс превосходит все другие источники загрязнения атмосферы. На основе разработанной нами методики мы изучили состав твердофазных частиц аэрозолей, установленных в снежном покрове на территориях, прилегающих к объектам теплоэнергетики в городах Иркутск, Черемхово, Зима и Усть-Кут. Сравнивая анализы, полученные по четырем городам (табл. 2), следует отметить, что на всех изученных территориях отмечается содержание в твердофазной нагрузке техногенного муллита. Наибольшее процентное содержание техногенных кварца и муллита установлено в пробах, отобранных на территориях, прилегающих к ТЭЦ-12 в г. Черемхово. В г. Усть-Куте, наряду с высоким содержанием кварца и муллита, зафиксировано присутствие слюды. В снегогеохимических пробах, отобранных в Черемхово, плагиоклаз отсутствует, в г. Зиме наряду с кварцем и ортоклазом установлено более высокое, по сравнению с другими минералами, количество плагиоклаза альбита. Исследования показали, что в компонентном составе твердофазной нагрузки, образующейся в природно-технических системах объектов теплоэнергетики, всегда содержится техногенный муллит, наличие других фаз в значительной мере зависит от состава используемого угля.

Таблица 2

Содержание кристаллических фаз в твердых остатках снегогеохимических проб с территорий, прилегающих к объектам теплоэнергетики

№	Место отбора проб	Кристаллические фазы, %									
		Кварц	Плагиоклаз	Ортоклаз	Амфибол	Мусковит	Хлорит	Кальцит	Муллит	Магнетит	Гематит
г. Иркутск											
1	В зоне ТЭЦ, 2003 г.	27	29	16	2	—	—	—	3	—	10
2	В зоне ТЭЦ, 2005 г.	35	29	26	4	—	—	—	6	—	—
г. Черемхово											
3	ТЭЦ-12	59	—	10	—	—	—	—	22	9	—
4	В 700 м от ТЭЦ	49	—	17	—	—	—	—	25	9	—
5	В 1400 м от ТЭЦ	55	—	16	—	—	—	—	21	8	—
6	В 2000 м от ТЭЦ	56	6	10	—	—	—	—	19	9	—
7	Частный сектор	56	—	18	—	—	—	—	15	11	—

Окончание табл. 2

№	Место отбора проб	Кристаллические фазы, %									
		Кварц	Плагиоклаз	Ортоклаз	Амфибол	Мусковит	Хлорит	Кальцит	Муллит	Магнетит	Гематит
п. Зима											
8	ТЭЦ-3	43	26	23	1	2	–	–	5	–	–
9	В 500 м от ТЭЦ	41	33	14	4	–	–	–	8	–	–
10	В 1000 м от ТЭЦ	40	37	11	4	–	–	–	8	–	–
11	В 2000 м от ТЭЦ	33	20	31	4	3	2	–	4	3	–
п. Усть-Кут городская котельная											
12	Февраль 2002 г.	48	26	7	–	–	–	6	13	–	–
13	Март 2003 г.	51	23	8	–	–	–	6	12	–	–
14	Март 2004 г.	47	26	10	5	4	2	–	6	–	–

Для того чтобы проследить взаимосвязь компонентного состава кристаллических фаз твердофазной нагрузки с наличием химических предприятий в городах, мы провели изучение снегеохимических проб, отобранных в городах: Саянске, Усолье-Сибирское и Ангарске. Результаты проведенных наблюдений в городах Саянске, Усолье-Сибирском, Ангарске (табл. 3) показали, что в г. Саянске на территории «Саянскхимпласт» в твердофазной нагрузке преобладают в большом количестве кварц, ортоклаз, плагиоклаз; в г. Ангарске составы пыли летом и твердофазной нагрузки зимой по количественному содержанию минералов (кварца, ортоклаза и кальцита) близки, в г. Усолье-Сибирское в пробах пыли установлено высокое содержание кальцита  $\text{CaCO}_3$ , а в снеге – доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Анализ загрязнения снежного покрова твердофазными частицами в трех городах показал, что в природно-технической системе химической промышленности концентрация установленных карбонатов превышает их содержание в окружающих породах, на которых расположены города, так как значительная часть минералов оказывается техногенной.

Кристаллические фазы аэрозолей в природно-технической системе алюминиевых заводов рассмотрены на примере г. Шелехов и г. Братска. В составе проб, отобранных около промышленной зоны алюминиевого завода в г. Шелехов, установлены дисперсные частицы, представляющие собой две кристаллические модификации техногенных материалов  $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\delta$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Первая соответствует природному минералу корунду, который образуется при температурах от 500 до 1500 °С, вторая полиморфная модификация не имеет аналогов в природе, обладает близкими к первой физическими свойствами и образуется при температуре 1000 °С.

Таблица 3

Содержание кристаллических фаз в твердых остатках  
снеггеохимических проб с территорий, прилегающих  
к объектам химической промышленности

№	Место отбора проб и материал	Кристаллические фазы (%)									
		Кварц	Плагиоклаз	Ортоклаз	Амфибол	Мусковит	Хлорит	Кальцит/доломит	Муллит	Каолинит	Магнетит/рутил*
г. Саянск «Саянскхимпласт»											
1	Снег	31	82	30	4	2	2	–	–	–	3
2	Снег	37	30	23	3	1	2	–	–	–	–
3	Снег	33	31	19	4	6	–	2	–	–	5
г. Усолье-Сибирское «Усольехимпром»											
4	Пыль	24	25	28	6	<1	–	16	–	<1	–
5	Снег	24	21	17	2,3	1,7	–	4/28	–	1	–
г. Ангарск вблизи выездной дороги в г. Иркутск											
6	Пыль	39	28	18	13	<2	–	2	–	<1	–
7	Снег	38	25	20	–	–	–	2	9	–	6*

На территории алюминиевого завода в определенных местах, где производится разгрузка и складирование основного сырья, были отобраны снеггеохимические пробы и изучен состав самого полупродукта. Исследования показали, что компонентный состав твердого остатка снеггеохимических проб идентичен составу используемого на заводе глинозема. В пробах установлены техногенные фазы (%): корунд  $\alpha$  –  $Al_2O_3$  – 20 и модификация корунда  $\theta$  –  $Al_2O_3$  +  $\chi$  –  $Al_2O_3$  – 80. На территориях, прилегающих к алюминиевому заводу в г. Братске, также были отобраны снеггеохимические пробы. Результаты анализов проб в городах Братске и Шелехове показали сходства их минерального состава (табл. 4). Как показывают проведенные исследования, в природно-технической системе алюминиевых заводов в твердофазной нагрузке практически в равных количествах зафиксированы кристаллические фазы техногенных минералов ( $\alpha$  –  $Al_2O_3$ ,  $\delta$  –  $Al_2O_3$ ,  $\theta$  –  $Al_2O_3$ ).



Таблица 4

Содержание кристаллических фаз в твердых остатках снегогеохимических проб в городах Шелехове и Братске

Город	Кристаллические фазы (%)							
	Модификации техногенного корунда				Кварц	Плагиоклаз	Слюда	Флюорит
	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\delta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3+</sub> $\delta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3+</sub> $\chi$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
Шелехов (2002 г.)	60	28	–	–	12	–	–	–
Шелехов (полу-продукт) (2005г.)	20	–	–	80	–	–	–	–
Братск (2005 г.) (I)	12	–	76	–	5	5	2	1
Братск (2005 г.) (II)	12	–	83	–	2	3	–	–

Кристаллические фазы аэрозолей в системе объектов железнодорожного транспорта рассмотрены на примере локомотивного депо в г. Усть-Кут. В локомотивном депо производится загрузка сухого песка в тормозную систему локомотива. Технологический процесс сопровождается выделением взвешенных частиц в окружающую среду на всех стадиях его протекания (табл. 5). После изучения минерального состава твердых частиц, установленных в снеге на территории депо, проанализирована пыль с подоконников в здании депо и песок, заправляемый в тормозную систему локомотива. Качественный минеральный состав пыли, оседаемой в здании депо, полностью соответствует минеральному составу твердых частиц, установленных в пробах снега за пределами здания. Отличие заключается в количественном соотношении минералов и в их гранулометрическом составе. Минералогический анализ песка, заправляемого в тормозную систему локомотива, показал, что в его составе присутствуют (%): кварц – 89, микролин – 10, плагиоклаз – 1. В фазовом составе твердых частиц, установленных в пробах снега, отобранных на протяжении трех лет с 2002 по 2004 гг., на территории локомотивного депо, также как и пробах пыли и песка, отмечено высокое содержание кварца – 47–89 %. Присутствие других техногенных минералов в составе твердых частиц в снеге и пыли объясняется составом горных пород, развитых в районе.

Таблица 5

Состав твердофазной нагрузки в природно-технической системе железнодорожного транспорта (локомотивное депо г. Усть-Кут)

Год отбора проб и материал	Установленные кристаллические фазы (%)				
	Кварц	Микролин	Мусковит	Плагиоклаз	Хлорит
2002 г. снег	86	14	–	–	–
2003 г. снег	88	12	–	–	–
2004 г. снег	67	22	6	4	1
2004 г. пыль с подоконников	47	25	18	8	2
2004 г. песок из песконаполнителей	89	10	–	1	–

Кристаллические фазы аэрозолей, связанные с деятельностью горно-рудных природно-технических систем, рассмотрены на примере Ангасольского и Братского карьеров. В Ангасольском карьере пробы отбирались в нижней и верхней частях отвала нового конуса и из разрушенного отвала старого конуса. У подножья нового отвала преобладающими кристаллическими фазами являются (%): андезин – 25, кварц – 22, амфибол – 16, биотит – 16, диопсид – 11, микроклин – 10. Акцессорные минералы: апатит, сфен, магнетит присутствуют в количестве менее 1 %. Минеральный состав пробы, отобранной в верхней части конуса нового отвала, отличается более высоким содержанием (%): биотита – 22 и андезина – 36, меньшим количеством кварца – 16, амфибола – 11, диопсида – 5, микроклин остается на прежнем уровне. В отсева щебня старого отвала преобладают (%): андезин – 30 и кварц – 23, повышается содержание микроклина до 15, уменьшается количество биотита до 8. Содержание (%) диопсида – 10 и амфибола – 14 близки их концентрациям в верхней части конуса нового отвала. По минеральному составу отсев щебня соответствует окварцованному гранодиориту, наиболее распространенному из пород Ангасольского карьера. После изучения минерального состава отсева щебня из всех отвалов, расположенных в карьере, нами были отобраны пробы пыли в летнее время, как в карьере, так и в самом поселке. Качественный минеральный состав отобранных проб пыли на указанных территориях идентичен составу отсева щебня из верхней части нового отвала и представлен в (%): андезином – 36, биотитом – 22, кварцем – 16, микроклином – 15 и амфиболом – 11. В карьере г. Братска наиболее мелкая фракция (пылеватые частицы) отсева щебня представлена (%): плагиоклазом – 57, оливином – 22, диопсидом – 12, кальцитом – 4, кварцем – 3, хлоритом – 2. В Слюдянке (карьер Перевал) по сравнению с Братским карьером зафиксировано высокое количество карбонатов. Минеральный состав твердофазных частиц, установленных в пробах пыли, отобранных на территориях, прилегающих к карьерам, как в Братске, так и в Слюдянке идентичен минеральному составу пород, вскрытых вышеуказанными карьерами.

### **Обсуждение полученных результатов**

По результатам проведенных исследований твердофазной составляющей аэрозолей в природно-технических системах, выделены и количественно оценены техногенные кристаллические фазы, являющиеся индикаторами конкретных источников загрязнения приземной атмосферы. Наибольшее количество вредных веществ присутствует в продуктах сгорания при работе ТЭС на твердом топливе, особенно с высоким содержанием в нем минеральной, несгорающей части. На территории городов Прибайкалья используются угли Черемховского, Азейского и Канско-Ачинского разрезов. Нами был проанализирован минеральный состав энергетических шлаков, образующихся преимущественно в результате сжигания углей Канско-Ачинского бассейна. Минеральный состав шлаков частично зави-

сит от состава и количества включений вмещающих пород в разрабатываемом пласте угля.

В результате исследований установлено, что главными породообразующими минералами во всех отобранных пробах энергетического шлака являются кварц, плагиоклаз, слюда, в меньших количествах присутствуют хлорит, каолинит, карбонаты. В твердофазной части аэрозолей отмечается повышенное содержание техногенного муллита. На территории г. Черемхово его количество по сравнению с другими изученными городами наиболее высокое. Данная кристаллическая фаза является устойчивой, труднорастворимой и, попадая в дыхательные пути человека, вместе с кварцем и полевыми шпатами вызывает заболевания верхних дыхательных путей [16]. Известно, что при сжигании твердого топлива наименьшая фракция тонкодисперсных частиц, содержащихся в золе в количестве 80–85 %, уносится из топок с дымовыми газами в приземную атмосферу.

В природно-технических системах предприятий химической промышленности установлено повышенное содержание доломита и кальцита. Такое высокое количество карбонатов больше нигде не зафиксировано. По данным исследований воздействий пылеватых частиц на организм человека кварц и кальцит вызывают ряд серьезных заболеваний. Кальцит способствует возникновению бронхита, хронического гайморита, а кварц стимулирует развитие туберкулеза и рака легких. Минеральный состав твердофазной нагрузки в городах Усолье-Сибирское и Ангарске практически представлен одними и теми же кристаллическими фазами, только в разных соотношениях.

В металлургических природно-технических системах алюминиевых заводов в городах Братске и Шелехове в твердофазной нагрузке в преобладающем количестве установлены кристаллические фазы техногенного корунда.

В природно-технических системах промышленных предприятий железнодорожного транспорта в пробах снега зафиксировано самое высокое содержание кварца, что связано с деятельностью локомотивного депо.

В горнорудных природно-технических системах компонентный состав кристаллических фаз аэрозолей (карьеры п. Ангасолка, г. Слюдянка и г. Братска) представлен породообразующими минералами пород, разрабатываемых в карьерах.

При изучении состава твердофазной части аэрозолей проведена оценка состояния различных природно-технических систем, как в зонах деятельности промышленных предприятий, так и на различных удалениях от них. Установлено, что изменяется только процентное содержание, а компонентный состав не меняется.

## **Заключение**

В процессе выполнения исследований нами впервые разработана для практического использования развернутая методика дифрактометрического анализа снегогеохимических проб, позволившая изучить состав твердых

фаз аэрозолей на территории городов и промышленных центров Прибайкалья. В результате удалось определить и количественно оценить генетические типы кристаллических фаз аэрозолей (петрогенные и техногенные), зафиксированные в воздушных выпадениях.

На основании проведенных наблюдений за твердофазной нагрузкой в различных городах Иркутской области впервые установлена взаимосвязь состава кристаллических фаз аэрозолей, обладающих фиброгенной активностью, с деятельностью промышленных предприятий, расположенных в данных городах.

Выделенные техногенные частицы твердых фаз аэрозолей являются индикаторами конкретных источников загрязнения приземной атмосферы: для предприятий систем теплоэнергетики – муллит; для предприятий химической промышленности – карбонаты; для металлургических систем (алюминиевые заводы) – корунд и различные его модификации; для локомотивных депо – кварц, для горнорудных природно-технических систем состав кристаллических фаз аэрозолей соответствует петрографическому составу разрабатываемых в карьерах пород.

Установлено, что интенсивность техногенного загрязнения атмосферы твердофазными частицами в акватории оз. Байкал является высокой. Для ее снижения необходима своевременная утилизация и переработка скапливающихся отходов [17], являющихся источником аэрозольного загрязнения атмосферы.

#### Список литературы

1. *Аргучинцев В. К.* Численное моделирование распространения твердых взвесей от промышленных предприятий в Южном Прибайкалье / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева, Л. В. Макухин // География и природные ресурсы. – 1995. – № 1. – С. 152–158.
2. *Аргучинцева А. В.* Моделирование накопления на подстилающей поверхности полидисперсных аэрозолей антропогенного происхождения / А. В. Аргучинцева // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 9. – С. 865–870.
3. *Безуглая Э. Ю.* Чем дышит промышленный город / Э. Ю. Безуглая, Г. П. Расторгуева, И. В. Смирнова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1991. – 255 с.
4. *Бородулин А. С.* Высотная и сезонная изменчивость концентрации биогенной компоненты тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири / А. С. Бородулин, А. С. Сафатов, В. В. Марченко // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16, № 5–6. – С. 422–425.
5. *Бояркина А. П.* Аэрозоли в природных планшетах Сибири. / А. П. Бояркина, В. В. Байковский, Н. В. Васильев. – Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1993. – 157 с.
6. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2003 г. – Иркутск : Облмашинформ, 2004. – 296 с.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 г. – Иркутск : Облмашинформ, 2008. – 357 с.
8. *Кондратьев К. Я.* Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. Физические свойства и химический состав // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 2. – С. 123–146.

9. Кошелев А. А. Экологические проблемы энергетики / А. А. Кошелев, Г. Б. Ташкинова, Б. Б. Чебоненко. – Новосибирск : Наука, 1989. – 322 с.
10. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 112 с.
11. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снеговом покрове и почве // Экология. – 1991. – № 9. – С. 13–23.
12. Нецветаева О. Г. Химический состав и кислотность атмосферных осадков в Прибайкалье / О. Г. Нецветаева, Т. В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 6–7. – С. 618–621.
13. Оболкин В. А. Элементный состав нерастворимой фракции зимних атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья / В. А. Оболкин, Н. А. Кобелева, Т. В. Ходжер, С. Ю. Колмогоров // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17, № 5–6. – С. 414–417.
14. Рапута В. Ф. Исследование процессов регионального переноса пыли с территории городов / В. Ф. Рапута, В. В. Коковкин, О. В. Шуваева // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 15, № 5–6. – С. 475–478.
15. Исследование процессов длительного загрязнения окрестностей Иркутска тяжелыми металлами / В. Ф. Рапута [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 14, № 6–7. – С. 623–625.
16. Минеральный состав твердофазных частиц в городах южного Прибайкалья / В. П. Рогова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 5–6. – С. 555–557.
17. Снижение загрязнения бассейна озера Байкал за счет переработки промышленных отходов / В. А. Скворцов [и др.] – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 127 с.
18. Смагунова А. Н. Использование рентгеноспектрального метода для анализа атмосферных аэрозолей / А. Н. Смагунова, О. М. Карпукова, Е. Н. Коржова // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 7. – С. 641–644.
19. Федорова Н. В. Оценка твердых фаз аэрозолей в природно-технических системах и перспективные направления утилизации продуктов их накопления в городах Прибайкалья : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Федорова. – Чита : ЧитГУ, 2008. – 18 с.
20. Boucher O. History of sulfate aerosol radiative forcings / O. Boucher, M. Pham. // Geophys. Res. Lett. – 2002. – V. 29, № 9. – P. 215–228.
21. Heintzenberg J. Distribution of optical properties among atmospheric submicrometer particles of given electrical mobilities / J. Heintzenberg, K. Orada // J. Geophys. Res. D. – 2002. – V. 107, N 12. – P. ACH6/1-ACH6/12.
22. Lee J. H. Identification of sources contributing to Mid-Atlantic regional aerosol / J. H. Lee, Y. Yoshid., B. J. Turpin, P. K. Hopre // J. Air and Waste Manag. Assoc. – 2002. – V. 52. – P. 1186–1205.
23. Liu X. Effect of Mount Pinatubo  $H_2SO_4 / H_2O$  aerosol on ice nucleation in the upper troposphere using a global chemistry and transport model / X. Liu, J. E. Penner // J. Geophys. Res. D. – 2002. – V. 107, № 12. – P. AAC2/1-AAC2/18.
24. Shah Munir H. A Study of airborne selected metals and particle size distribution in relation to climatic variables and their source identification / H. Shah Munir, N. Shaheen, M. Jaffar. // Water, Air and Soil Pollut. – 2005. – № 1–4. – С. 275–294.
25. Wang Zifa. Local and non-local sources of airborne particulate pollution at Beijing / Zifa Wang, Lihui Han // Arts and Sci. Natur. Sci. Ed. – 2005. – № 3. – С. 253–264.

## The solid Aerosol Particles are in the Natural-technical Systems of the Cisbaikal

V. P. Rogova, V. A. Skvortsov, N. V. Fedorova, D. T. Chursin

**Annotation.** The improved method of X-ray qualitative phase analysis for the first time. It let us examine composition of the solid aerosol particles on the territory of some towns and industrial centres of Irkutsk region. As a result of this work we came to the conclusion that the solid aerosol particles have fibrogen activity and oncogenic properties. They are indicator of the natural-technical systems.

**Key words:** solid aerosol particles, natural-technical systems, industrial centres of Cisbaikal.

*Рогова Вера Парфентьевна*  
доктор геолого-минералогических наук  
профессор  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-89, 38-72-91

*Скворцов Валерий Александрович*  
доктор геолого-минералогических наук  
профессор  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-89

*Федорова Наталья Владимировна*  
кандидат технических наук  
Иркутский государственный университет  
путей сообщения  
664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15  
тел.: (3952) 38-77-46

*Чурсин Денис Александрович*  
кандидат технических наук  
Иркутский государственный университет  
путей сообщения  
664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15  
тел.: (3952) 38-77-46