

УДК 504.3.054

DOI: 10.15372/ChUR2019126

Макроэлементный и минерально-фазовый состав пыли в зоне воздействия цементного завода по данным изучения снегового покрова (Кемеровская обл.)

А. В. ТАЛОВСКАЯ, Д. А. ВОЛОДИНА, Е. Г. ЯЗИКОВ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск (Россия)**E-mail: talovskaj@yandex.ru*

(Поступила 18.01.19, после доработки 21.02.19)

Аннотация

Представлены результаты оценки пространственного распределения пылевой нагрузки, макроэлементного (Ca, Na, Fe, Al, Si, Mg) и минерально-фазового состава пылевых частиц, осевших на снеговой покров в зоне воздействия цементного завода (г. Топки, Кемеровская обл.). Определено, что величина пылевой нагрузки превышает фон от десятков до сотен раз, а степень пылевого загрязнения изменяется от низкой до очень высокой. Основу твердого осадка снега и пыли с электрофильтров вращающейся печи составляют кристаллические фазы сырьевых материалов – кальцит и кварц, а в твердом осадке снега выявлены также минералы портландцементного клинкера – браунмиллерит и хатрурит. Содержания этих четырех минералов в пробах в основном формируют пылевую нагрузку. Техногенная геохимическая специализация твердого осадка снега проявляется в повышенных уровнях накопления Ca (в 10–12 раз выше фоновых значений), сопоставимых с его содержанием в пыли с электрофильтров и в портландцементе. Основу проб составляют микрочастицы, близкие по составу к ферритам кальция, оксидам железа, в меньшем количестве в пробах содержатся частицы, близкие по составу к алюминатам кальция и сульфидам железа. Основными источниками поступления пыли являются разработка карьера, транспортировка и погрузо-разгрузочные работы на площадках завода. Перенос пылевых частиц происходит преимущественно в северном направлении от завода на расстояние чуть более 2 км, и по мере удаления от источников выявлена тенденция снижения пылевой нагрузки. Выделенные кристаллические фазы и микрочастицы можно рассматривать в качестве индикаторов для идентификации выбросов цементных заводов в окружающую среду.

Ключевые слова: цементный завод, снеговой покров, макроэлементы, микрочастицы, минералы, пылевое загрязнение

ВВЕДЕНИЕ

Оценка влияния промышленных предприятий на формирование состава компонентов природной среды – одна из актуальных задач геохимии окружающей среды. Цементная промышленность является мощным источником загрязнения атмосферного воздуха. Одним из маркерных веществ, выделяемые в окружающую среду на цементных производствах, является пыль (твердые частицы) [1]. Выбрасываемая пыль от этих заводов характеризуется высоким содержанием

CaO (39.4–53.1 %) и SiO₂ (7.1–27.9 %), а также на 75 % состоит из опасных для дыхательных путей человека частиц размером менее 10 мкм. В отдельных случаях в пыли наблюдаются высокие концентрации K₂O (до 11.2 %) и серы (до 7.8 %) [1]. У населения, проживающего в зоне пылевых выбросов цементных заводов, диагностируются хронический бронхит, бронхиальная астма, онкологические заболевания, заболевания легких, конъюнктивит, дерматит и другие заболевания; работники страдают силикозом [2].

Определение уровня пылевого загрязнения в зоне воздействия цементных заводов и состава продуктов их выбросов в окружающей среде актуально для выявления закономерностей атмосферного переноса выбрасываемых пылевых частиц, анализа их качественных и количественных характеристик, а также для разработки природоохранных мероприятий. Снеговой покров является идеальным компонентом природной среды для изучения состава промышленных выбросов, поскольку способен накапливать загрязняющие вещества из атмосферного воздуха [3–8].

Цель настоящей работы – выявление закономерностей пространственного распределения пылевой нагрузки, а также макроэлементов (Ca, Na, Fe, Al, Si, Mg) и минерально-фазовых компонентов в составе пылевых частиц, осевших на снеговой покров в зоне воздействия цементного завода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования нами выбран цементный завод в Кемеровской области (г. Топки) – крупное предприятие по производству цемента в России (3,7 млн т цемента в год). Он расположен в 5 км от жилой части г. Топки и служит главным источником пылевого загрязнения территории, ежегодно выбрасывая значительные объемы неорганической пыли. По данным государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области, в атмосферном воздухе г. Топки и Топкинского района отмечено снижение выбросов загрязняющих веществ с 2013 по 2016 гг. (2013 г. – 9,6 тыс. т и 216 кг/чел.; 2014 г. – 9,5 тыс. т и 215 кг/чел.; 2015 г. – 8,8 тыс. т и 199 кг/чел.; 2016 г. – 5,4 тыс. т и 124 кг/чел.). Город Топки отнесен к группе городов с относительно высокими показателями заболеваемости и смертности, а также с высоким уровнем заболеваемости раком легких. В данной группе наибольшую долю составляет мужское население в возрасте 30 лет и старше [9]. Анализ динамики заболеваемости раком легкого населения с 1990 по 2009 гг. показал, что в этот период Топкинский район относился к неблагоприятным территориям с тенденцией снижения или стабилизации по заболеваемости раком легкого среди мужчин [10]. В период 2000–2009 гг. были отмечены статистически значимые превышения средних по Кемеровской области показателей заболеваемости рака легкого у мужчин.

В феврале 2016 г. проводился отбор проб снегового покрова в зоне воздействия Топкинского цементного завода (рис. 1). Пункты отбора проб были расположены по векторной системе с учетом главенствующего направления ветра (юго-западного), высоты труб завода и рельефа местности. Маршрутный отбор проб снега осуществляли в северном, северо-западном и юго-восточном направлениях на расстоянии от 0,5 до 2,5 км от труб завода. Пробы, отобранные на расстоянии до 1 км, были расположены в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Отбор проб также проводили в районе карьера по добыче известняков и глин, на базе которого работает завод, и в жилой части г. Топки (5 км от завода). В качестве фонового района была выбрана территория в 53 км от г. Топки. Всего отобрано 15 проб снегового покрова в зоне влияния завода и 10 проб – в фоновом районе.

Пробы отбирали из шурфов на всю мощность снегового покрова, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой во избежание загрязнения проб почвенными частицами. Таяние проб осуществляли при комнатной температуре, затем снеготалую воду фильтровали для выделения пылевых частиц, осевших на снеговой покров. После фильтрации полученный твердый осадок снега просеивали (сито с диаметром ячеек 1 мм) и взвешивали.

Расчет пылевой нагрузки P_n был произведен по формуле [3]: $P_n = P_0 / (S \cdot t)$, где P_0 – масса твердого осадка снега, мг; S – площадь шурфа, м²; t – время от начала снегостава до дня отбора проб, сут. С помощью принятой градации по пылевой нагрузке [3] с дополнениями [4] определялась степень загрязнения и экологической опасности территории: менее 250 мг/(м²·сут) – низкая, неопасный; 251–450 – средняя, умеренно-опасный; 451–850 – высокий, опасный; более 851 – очень высокая, чрезвычайно опасный. Для сравнительного анализа состава проб твердого осадка снега были отобраны и проанализированы пробы пыли с электрофильтров вращающихся печей завода, а также продукции завода – портландцемента.

Исследования состава проб выполнены в лабораториях МИНОЦ “Урановая геология” ТПУ (Томск). Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) использовали для анализа содержания Ca, Na и Fe в пробах. Содержание Al, Si и Mg в пробах твердого осадка снега было определено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в аккредитованной лаборатории ХАЦ “Плазма”



Рис. 1. Карта отбора проб снегового покрова в зоне воздействия цементного завода и на территории г. Топки (<https://www.google.ru/maps/> с дополнениями авторов; пробы № 1–6 – жилая зона г. Топки, пробы № 7, 12, 13 – санитарно-защитная зона завода; пробы № 7, 10, 11 – юго-восточная зона воздействия; пробы № 9, 12–15 – северо-западная зона; пробы № 13–15 – северная зона; проба № 8 – район карьера по добыче известняков и глин).

(Томск). Изучение минерально-фазового состава проб осуществляли с помощью порошковой рентгеновской дифрактометрии (ПРД) на дифрактометре BrukerPhaser D2 (Германия). Полуколичественный минералогический анализ рентгеновских дифрактограмм проводился с использованием программного обеспечения Diffrac.Eva. V3.2. Морфология (размер, форма), и полуколичественный элементный состав отдельных микрочастиц в пробах исследованы на сканирующем электронном микроскопе S-3400N Hitachi (Япония) с энергодисперсионной приставкой для рентгеноспектрального анализа Bruker XFlash 4010 (Германия).

Карты пространственного распределения пылевой нагрузки и кальция в твердом осадке снега на территории исследования построены с помощью ПО Surfer 11 (метод Natural Neighbor).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пылевая нагрузка

Величина фоновой пылевой нагрузки составляет $9.2 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, что сопоставимо с фоном для нечерноземной зоны европейской части России ($10 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$) [3] и для Западно-Сибирского региона ($7 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$) [8].

Величина пылевой нагрузки на жилую часть г. Топки соответствует низкой степени загрязнения согласно градации [3, 4] и превышает фон в 3 раза (табл. 1).

В зоне воздействия цементного завода величина пылевой нагрузки изменяется от 142 до 4616, в среднем составляя $1243 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. В пределах СЗЗ (0.5 и 0.9 км от труб завода) сформирована очень высокая степень загрязнения и чрезвычайно опасная экологическая ситуация, выявлено превышение фона от 50 до 500 раз. В северной и северо-западной зонах от завода формируется очень высокая степень загрязнения и чрезвычайно опасная экологическая ситуация согласно градации [3, 4] (см. табл. 1). Средняя величина пылевой нагрузки в этих зонах превышает фон более чем в 100 раз.

В юго-восточной зоне выявлена высокая степень загрязнения и опасная экологическая ситуация. Среднее значение пылевой нагрузки в этой зоне превышает фон в 65 раз.

Анализ пространственного распределения пылевой нагрузки показывает, что пылевые частицы распространяются в северном и северо-западном направлении от завода (рис. 2, а). Выявлена закономерность существенного снижения величины пылевой нагрузки по мере удаления от источников завода в северном направ-

ТАБЛИЦА 1

Пылевая нагрузка на снеговой покров в зоне воздействия цементного завода

Зона	Число проб	Среднее значение P_n , мг/(м ² · сут)	Степень загрязнения, уровень экологической опасности [3, 4]	Мин. мг/(м ² · сут)	Макс.
Жилая (г. Топки)	6	27.6	Низкая, неопасный	12.4	75.0
Санитарно-защитная	3	2124	Очень высокая, чрезвычайно опасный	457.0	4616
Северная	4	885.4	То же	174.2	1244
Северо-западная	5	1243	»	141.7	4616
Юго-восточная	3	600.1	Высокая, опасный	207.2	1078
Карьер	1	273.9	Средняя, умеренно-опасный	Н. д.	Н. д.

Примечания. 1. Фон – 9 мг/(м² · сут); 2. Н. д. – нет данных.

лении от 4616 (0.5 км от труб) до 174 мг/(м² · сут) (2.3 км от труб).

Наибольшие значения пылевой нагрузки выявлены в пределах СЗЗ и в северной зоне воздействия завода. Поступление пыли в окружающую среду происходит преимущественно во время погрузо-разгрузочных работ согласно данным тома предельно допустимых выбросов (ПДВ), а также с выбросами труб завода. В районе погрузочной (в пределах СЗЗ, на расстоянии 0.5 км от труб), где происходят транспортиров-

ка цемента в силосах цементных мельниц и открытая отгрузка портландцемента в железнодорожный и автотранспорт, пылевая нагрузка превышает фон в более чем 500 раз. В работах [5, 7] также показано максимальное выпадение взвешенных пылевых веществ на снеговой покров на расстоянии от 0.2 до 0.7 км от труб цементных заводов. Нами не исключается формирование дополнительного пылевого загрязнения в северной зоне воздействия завода за счет переноса пылевых частиц от разработки карьера.

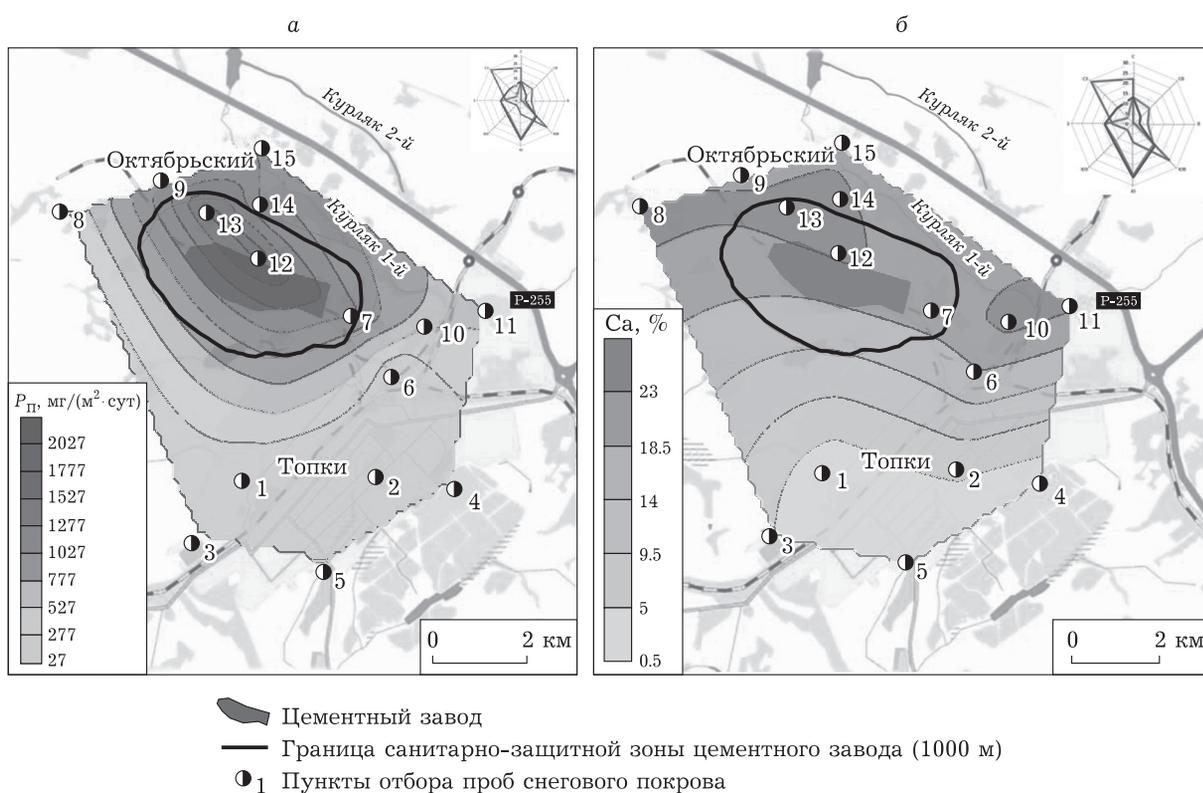


Рис. 2. Карта пространственного распределения пылевой нагрузки (а) и кальция (б) в зоне воздействия цементного завода по данным снеговой съемки.

Средняя степень загрязнения и умеренно-опасная экологическая ситуация формируется в районе карьера (превышение фона в 30 раз). Вклад в пылевую нагрузку вносит открытая добыча известняков и глин буровзрывным способом, а также транспортировка добытого сырья в технологические цеха самосвалами (в т. ч. БЕ-ЛАЗ) и другим транспортом.

Макроэлементный состав

Макроэлементный состав твердого осадка снега в основном представлен Са, содержание которого в пробах из зоны воздействия цементного завода в 10 раз выше фоновых значений, из района карьера – в 12 раз, а с территории г. Топки – в 3 раза (табл. 2 и 3). Содержание остальных изучаемых макроэлементов в пробах не превышает фон (см. табл. 2). В пробах содержание Са значительно выше содержания Si, Al, Fe, Na, Mg.

По мере удаления от труб завода в северном направлении в пробах отмечаются незначительные вариации содержания Са и Na, что, вероятно, может быть связано с переносом выбрасываемых твердых частиц, а также частиц сырь-

евых компонентов и продукции на далекие расстояния по главенствующему направлению ветра. Выявлена взаимосвязь повышенного содержания Са в пробах и высоких значений пылевой нагрузки в северной зоне воздействия цементного завода (см. рис. 2).

Концентрация Са и Na в твердом осадке снега из зоны воздействия цементного завода сопоставима с их концентрацией в пыли с электрофильтров, вероятно, указывая на техногенный источник элементов в снеговом покрове (см. табл. 2). Содержание Al и Si в твердом осадке снега имеет тенденцию к увеличению по мере удаления от труб и достигает максимального значения на расстоянии 2.3 км, где расположено сельское поселение.

В атмосферный воздух при погрузо-разгрузочных работах могут поступать и частицы продукции завода – портландцемента, с повышенным содержанием изучаемых элементов (см. табл. 2), а также СаО, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O + K₂O и других примесей [11]. Источником Са при производстве цемента является известняк (СаСО₃), Fe может поступать в окружающую среду при использовании железосодержа-

ТАБЛИЦА 2

Среднее содержание макроэлементов в твердом осадке снега из зоны воздействия цементного завода и в пыли с электрофильтров вращающейся печи, %

Пробы	Са	Na	Fe	Al	Si	Mg
Зона:						
Жилая (г. Топки)	7.3	0.6	2.7	3.5	8.6	0.7
Санитарно-защитная	23.3	0.1	1.7	1.6	5.1	0.6
Северная	23.7	0.2	1.9	1.8	5.8	0.6
Северо-западная	23.2	0.1	1.8	1.8	5.7	0.6
Юго-восточная	22.8	0.1	2.2	2.6	8.1	0.8
Карьер	25.6	0.1	0.8	1.2	3.9	0.5
Фон	2.2	0.9	2.6	6.3	24.3	0.9
Пыль с электрофильтров	20.6	0.3	1.9	Н. д.	Н. д.	Н. д.
Портландцемент	31.7	0.2	2.6	Н. д.	Н. д.	Н. д.

Примечания. 1. Здесь и в табл. 3: для Са, Na, Fe приведены данные ИНАА; Al, Si, Mg – данные ИСП-МС. 2. Н. д. – нет данных.

ТАБЛИЦА 3

Макроэлементный состав твердого осадка снега в северной зоне воздействия цементного завода, %

Расстояние от труб, км	Са	Na	Fe	Al	Si	Mg
0.5	24.1	0.09	1.7	1.3	4.7	0.6
0.9	25.3	0.1	1.3	1.5	5.0	0.6
1.2	23.9	0.1	1.9	1.7	6.1	0.6
2.3	21.9	0.2	1.5	2.3	6.4	0.5
Фон	2.2	0.9	2.6	6.3	24.3	0.9

Примечание. Обозн. см. табл. 2.

щих добавок в сырьевую смесь – гематита (Fe_2O_3) и трифолина (Fe_3O_4) [11].

Минерально-фазовый состав

С применением ПРД в пробах твердого осадка снега из северной зоны воздействия завода, района карьера и пыли с электрофильтров были выявлены кристаллические и аморфные фазы (табл. 4). В пробах твердого осадка снега доля кристаллической фазы оценивается от 82.6 до 86.2 %, тогда как доля аморфной фазы – от 13.8 до 17.2 %. Содержание кристаллических фаз в пробах по мере удаления от труб завода в северном направлении, на расстояние 0.5, 0.9, 1.2 и 2.3 км, существенно не изменяется, а содержание аморфной фазы немного увеличивается.

Содержание кристаллических и аморфных фаз в пробах твердого осадка снега с высокой вероятностью связано с распространением и осаждением на снеговой покров выбросов от источников цементного завода. Пробы твердого осадка снега существенно обогащены кальцитом (CaCO_3), в меньшей степени содержат кварц (SiO_2), альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) и мусковит ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) (см. табл. 4).

В пробах в пределах СЗЗ, вблизи погрузочной и 0.9 км от труб выявлены минералы цементного клинкера – браунмиллерит ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{3+})_2\text{O}_5$), за пределами СЗЗ (1.2 и 2.3 км) также в пробах обнаружены браунмиллерит и хатрурит (Ca_3SiO_5). Сравнительный анализ величины пылевой на-

грузки и содержания кристаллических фаз в твердом осадке снега показывает, что наибольший вклад в пылевую нагрузку в северной зоне вносят кальцит, кварц, а также браунмиллерит и хатрурит (см. табл. 4).

Кальцит и кварц являются породообразующими минералами известняка – основного компонента сырьевой смеси для производства портландцементного клинкера. При разработке карьера добычи известняков и глин, а также транспортировке и разгрузке сырья на площадках завода эти компоненты могут поступать в атмосферный воздух, переноситься на различные расстояния и затем осаждаться на снеговой покров. В пробе твердого осадка снега из района карьера содержится около 95 % кальцита и 5.4 % кварца (см. табл. 4).

На цементном заводе при обжиге клинкера часть соединений кальция (карбонаты, силикаты, алюминаты и алюмоферриты) формируются не только в виде минералов кристаллической структуры, но и входят в стекловидную фазу [11], и, соответственно, могут поступать с выбросами завода в атмосферный воздух [1]. Изучение ПРД пыли, уловленной электрофильтрами вращающейся печи, показало, что она обогащена кальцитом (68.4 %) и кварцем (14.4 %), а также в небольших долях содержит сильвин (KCl), микроклин ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), продукт гидратации клинкера и цемента – портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (см. табл. 4). На изучаемом заводе согласно тому ПДВ контролируются

ТАБЛИЦА 4

Содержание кристаллической и аморфной фаз в пробах твердого осадка снега в северной зоне воздействия цементного завода и пыли с электрофильтров вращающейся печи (по данным ПРД), %

Зоны	Кристаллическая фаза	Кальцит (CaCO_3)	Кварц (SiO_2)	Браунмиллерит ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{3+})_2\text{O}_5$)	Хатрурит (Ca_3SiO_5)	Микроклин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	Альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)	Мусковит ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$)	Сильвин (KCl)	Портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Аморфная фаза	P_n
Северная:												
0.5 км	86.2	83.7	6.6	–	–	–	6.3	3.4	–	–	13.8	4 616
0.9 км	82.6	94.2	3.2	2.5	–	–	–	–	–	–	17.4	1 238
1.2 км	82.8	62.3	3.5	4.9	29.3	–	–	–	–	–	17.2	1 244
2.3 км	83.4	88.8	4.8	6.5	–	–	–	–	–	–	16.6	174.2
Карьер	83.2	94.6	5.4	–	–	–	–	–	–	–	16.8	273.9
Пыль с электрофильтров	79.8	68.4	14.4	–	–	7	7.7	–	1.1	1.3	20.2	–

Примечания. 1. P_n – пылевая нагрузка, мг/(м²·сут). 2. Прочерк означает, что фазы в пробах не обнаружены.

нормативы ПДВ неорганической пыли ниже 20 % SiO₂ и 70–20 % SiO₂.

В составе цемента содержание SiO₂ может достигать 25 % [11]. Браунмиллерит и хатрурит являются минералами портландцементного клинкера, которые влияют на скорость твердения цемента, его пористость и долговечность [11]. В портландцементе содержание браунмиллерита составляет 2–15 %, а хатрурита – 40–65 %. Не исключается возможность поступления выше-названных минералов в атмосферный воздух, а затем и на снеговой покров, при погрузке и транспортировке продукции завода.

Предполагаем, что стекловидная фаза, образующаяся при обжиге клинкера [11], может формировать аморфную фазу в пыли с электрофильтров (см. табл. 4), которая в составе

пыли может поступать в атмосферный воздух и затем осаждаться на снеговой покров.

Микрочастицы, содержащие макроэлементы

Результаты сканирующей электронной микроскопии твердого осадка снега показали, что изученные 30 микрочастиц, содержащие макроэлементы, можно классифицировать на семь групп (рис. 3, табл. 5): 1) Ca-Fe-обогащенные частицы, близкие по составу к ферритам кальция; 2) Ca-Fe-обогащенные сферулы; 3) частицы с оксидами Ca, по составу близкие к кальциту; 4) Ca-Al-Si-обогащенные частицы, вероятно, представляющие собой алюминаты кальция; 5) частицы с оксидами Fe; 6) частицы с сульфидами Fe; 7) Ca-Pb-обогащенные частицы.

ТАБЛИЦА 5

Характеристика и элементный состав микрочастиц, содержащих макроэлементы, в твердом осадке снега из северной зоны воздействия цементного завода и пыли с электрофильтров

Группа частиц	Размер, мкм (мин.–макс.)	Форма	Содержание, %	Среднее содержание макроэлементов, мас. %								Примеси, мас. %
				Ca	Si	Al	Na	Fe	Mg	K	O	
Северная зона воздействия												
Ca-Fe-обогащенные	3.5–22.6	Округлая, призматическая, неправильная, вытянутая, угловатая	32	19.3	2.9	5.0	0.3	32.2	0.7	0.4	38.7	S (0.2); Ti (0.4); Zn (1.4); Mn (2.5)
То же, сферулы	0.9–4	Сферическая	8	20.5	3.0	2.2	0.3	27.8	0.9	0.2	43.0	Ti (0.5); Pb (0.6)
Частицы с оксидами Ca	3.5–6.3	Неправильная, призматическая, таблитчатая	8	38.7	1.6	3.2	–	0.8	0.5	0.3	51.8	Cr (1.6); Ti (2.4); Pb (4.0)
Ca-Al-Si-обогащенные частицы	1.1–45.8	Вытянутая, округлая	12	12.1	16.3	8.5	–	6.0	1.4	1.7	52.4	Ti (0.7); Zr (5.5)
Частицы с оксидами Fe	2.0–20.0	Неправильная, округлая, вытянутая, овальная	20	2.5	1.3	1.1	0.1	66.8	0.2	0.3	27.4	Ti (0.5); Zn (1.5); Mn (1.7)
То же, с сульфидами	11.6	кубическая	4	5.0	1.1	0.7	–	39.2	–	–	13.0	S (41)
Ca-Pb-обогащенные	0.4–6.3	Неправильная, сферическая	16	18.9	6.3	2.6	0.6	1.5	0.3	3.1	38.0	Zr (0.1); Ti (2.3); Cr (7.9); Pb (27.1)
Пыль с электрофильтров												
Ca-Fe-обогащенные	2.3–3.7	Округлая, призматическая	40	4.7	2.0	2.0	0.2	57.7	0.3	0.6	31.4	Zn (2.3); Ti (0.4); S (0.2)
То же, сферулы	3.2	Сферическая	20	3.7	1.9	0.7	0.1	55.2	0.1	0.4	37.8	S (0.1)
Частицы с оксидами Ca	6.8	Призматическая	20	39.1	0.7	0.9	–	–	0.3	0.3	58.7	–
То же, с оксидами Fe	6.05	Неправильная	20	11.7	14.8	1.9	0.6	1.6	0.2	4.2	39.2	–

Примечания. 1. Приведены данные сканирующей электронной микроскопии. 2. Прочерк означает, что элементы не обнаружены.

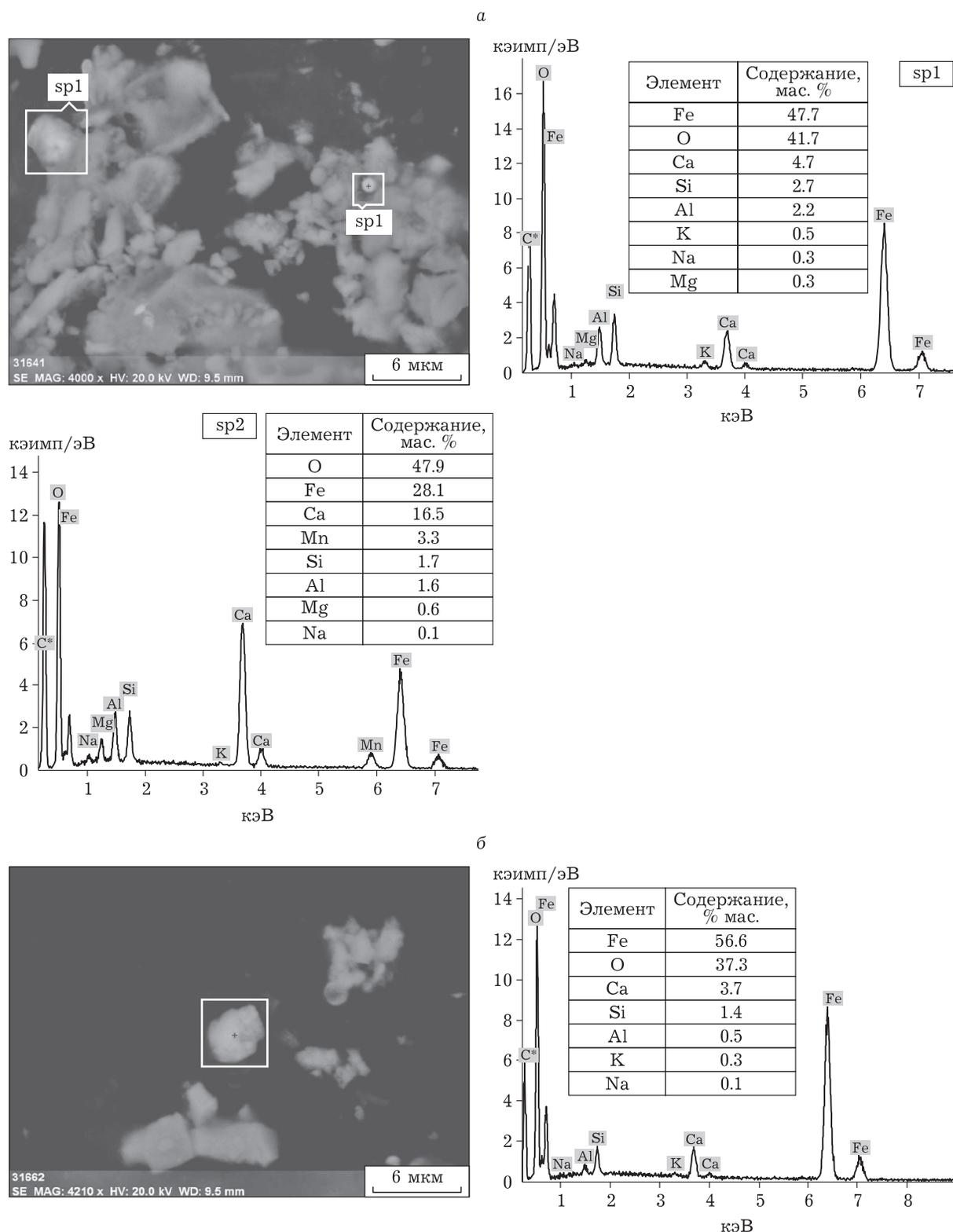


Рис. 3. Микрофотографии и энергодисперсионные спектры Ca-Fe-содержащих микрочастиц по данным сканирующей электронной микроскопии: а – проба из зоны воздействия цементного завода; б – пыль с электрофильтра.

Микрочастицы в каждой группе содержат примеси различных металлов. Содержание Ca в частицах этих семи групп изменяется от 2.5 до

38.7 мас. %. Обилие в пробах Ca-содержащих микрочастиц демонстрируется картами распределения Ca, Fe, Al и Si в пробе (рис. 4).

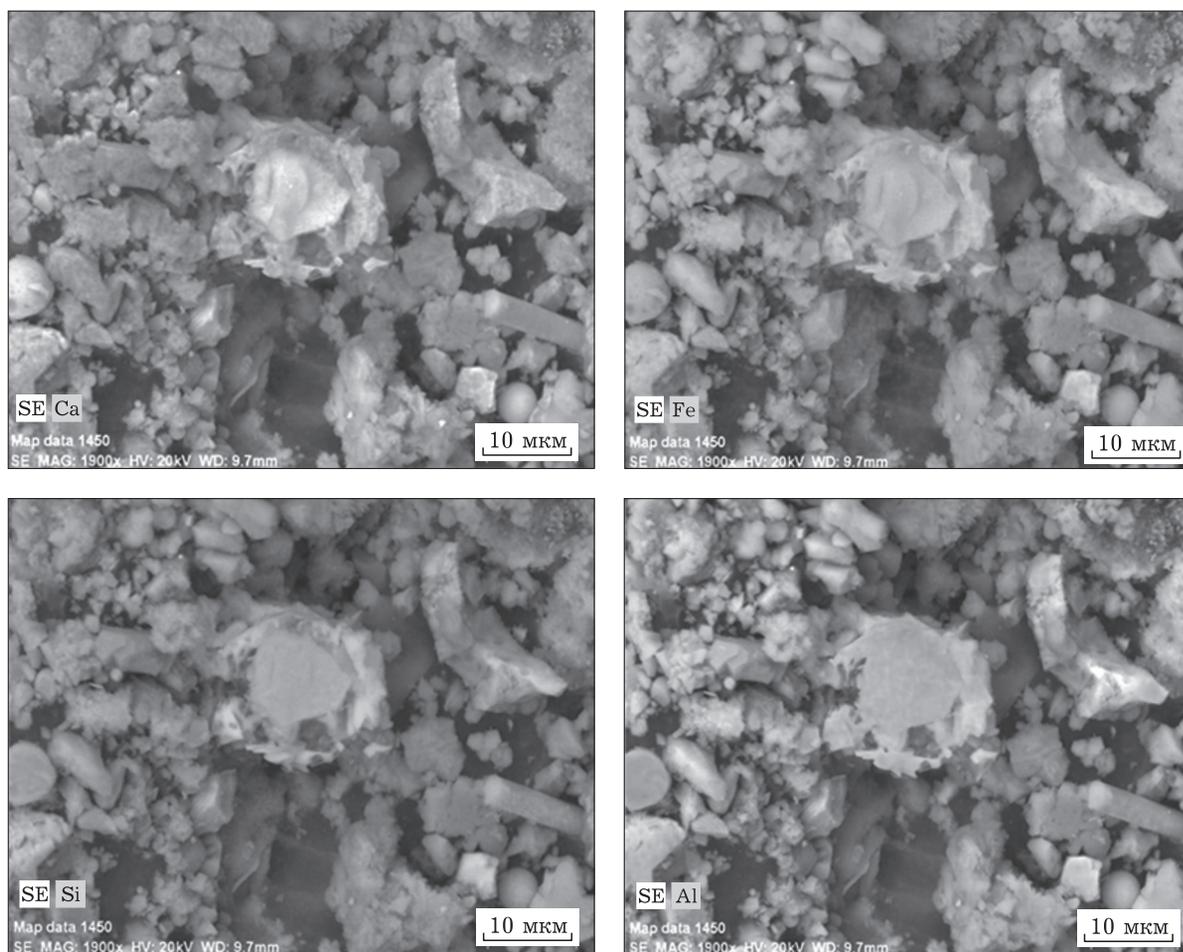


Рис. 4. Карта распределения Ca, Fe, Si и Al в пробе твердого осадка снега из зоны воздействия цементного завода (данные сканирующей электронной микроскопии).

Определено, что Ca содержится как в крупных (более 10 мкм), так и в мелких частицах (менее 2.5 мкм). Возможно, если бы эти частицы присутствовали в воздухе, то могли бы оказывать воздействие на здоровье человека, вызывая раздражающее действие на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей [2]. Выявленные частицы, по составу близкие к ферритам кальция, вероятно, могут осаждаться на снеговой покров при пылении во время погрузочных работ, поскольку ферриты кальция образуются и содержатся в портландцементе [11]. Присутствие Pb в составе Ca-Pb-обогащенных частиц в пробах твердого осадка снега, вероятно, обусловлено содержанием Pb в выбросах цементного завода согласно тому ПДВ. Большая часть соединений Pb поступает в атмосферу с безвозвратным пылеуносом, остальная выносится из печи с портландцементным клинкером [11].

В пробах твердого осадка снега преобладают Ca-Fe-обогащенные частицы (32 %) и частицы с

оксидами Fe (20 %) различного размера (см. табл. 5).

Выявлено, что эти частицы также составляют основу пыли с электрофильтров (см. табл. 5, рис. 3), а следовательно могут поступать в атмосферный воздух с выбросами завода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований пыли, осевшей на снеговой покров, установлена высокая величина пылевой нагрузки в зоне воздействия цементного завода относительно фоновых и нормативных значений, а в жилых районах близко расположенного к заводу города выявлена низкая пылевая нагрузка. Наибольший вклад в формирование пылевой нагрузки вносят кристаллические фазы кальцита и кварца, являющиеся компонентами сырьевой смеси и выбрасываемой пыли, а также браунмиллерит и хатрурит – минералы портландцементного клинкера.

Макроэлементный состав в основном представлен Са, содержание которого в пробах в 10–12 раз превышает фоновые значения. Выявлено, что изучаемый спектр макроэлементов (Са, Na, Fe, Al, Si, Mg) содержится в микрочастицах близких по составу к ферритам, оксидам и алюминатам кальция, оксидам и сульфидам Fe, и Са-Pb-обогащенных частицах.

Основной массоперенос пылевых выбросов происходит в северном направлении от источников завода на расстояние чуть более 2 км. Оценено уменьшение пылевой нагрузки по мере удаления от завода. Состав твердого осадка снега близок к составу изученной пыли с электрофильтров завода, указывая на присутствие компонентов выбросов завода в снеговом покрове. Формирование пылевой нагрузки, макроэлементного и минерально-фазового состава пылевых частиц, осевших на снеговой покров, может быть связано с распространением выбросов в большей степени от разработки карьера, погрузо-разгрузочных работ, транспортировки, а также в определенной мере от организованных источников, имеющих системы газоходов и труб. Выявленные кристаллические фазы и твердофазные формы проявления макроэлементов могут служить индикаторами техногенного воздействия производства цемента.

В качестве рекомендаций для снижения пылевых выбросов на цементном заводе можно предложить применение пылегазоочистных си-

стем, выбор которых представлен в ежегодных справочниках наилучших доступных технологий, а также закрытую систему транспортировки, погрузо-разгрузочных работ и усиление работы обеспыливающего оборудования.

Исследования выполнены в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности НИ ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Янин Е. П. // Эколог. экспертиза. 2015. № 3. С. 53–76.
- 2 Семиненко А. С., Попов Е. Н., Малахов Д. Ю. // Междунар. журнал приклад. и фундам. исслед. 2012. № 2. С. 93–94.
- 3 Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
- 4 Касимов Н. С., Кошелева Н. В., Власов Д. В., Терская Е. В. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2012. № 4. С. 14–24.
- 5 Щербатов А. Ф., Рапута В. Ф., Турбинский В. В., Ярославцева Т. В. // Анализ риска здоровью. 2014. № 2. С. 42–47.
- 6 Артамонова С. Ю. // Химия уст. разв. 2014. Т. 22, № 3. С. 229–240.
- 7 Турбина Е. С. // Вестн. Приамур. Государств. ун-та им. Шолом-Алейхема. 2016. Т. 24, № 3. С. 58–65.
- 8 Язиков Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Томск, 2006. 47 с.
- 9 Эпидемиология рака легкого / Под ред. Д. Г. Заридзе, Ю. С. Сидоренко, А. В. Чаклин, Т. В. Шелякина. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1990. 239 с.
- 10 Мун С. А., Браиловский В. В., Зинчук С. Ф. // Фундамент. исслед. 2013. № 9. С. 1081–1086.
- 11 Цемент и известь / Под ред. П. Кривенко. Киев, 2008. 480 с.