

УДК 551.578.46:550,4:504,4:621.311.22(571.16)
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-44-53

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ГРЭС-2)

DYNAMIC OF SNOW POLLUTION BY TRACE ELEMENTS WITHIN THERMAL POWER PLANT (CASE STUDY: TOMSK GRES-2)



*А. В. Таловская,
Национальный
исследовательский Томский
политехнический
университет, г. Томск
talovskaj@yandex.ru*

*A. Talovskaya,
National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk*



*Е. Г. Язиков,
Национальный
исследовательский Томский
политехнический
университет, г. Томск
yazikoveg@tpu.ru*

*E. Yazikov,
National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk*



*Е. А. Филимоненко,
Национальный
исследовательский Томский
политехнический
университет, г. Томск
filimonenkoa@mail.ru*

*E. Filimonenko,
National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk*

Отмечено, что теплоэлектростанции (ТЭС) являются одними из главных источников поступления твердых частиц в атмосферный воздух городских агломераций. Однако мало известно о временной динамике пылевого загрязнения и уровнях накопления радиоактивных и редкоземельных элементов в твердых частицах в районе расположения ТЭС, использующих смешанный вид топлива. Представлен анализ многолетних наблюдений (2009–2018) состава твердых частиц, осевших на снеговой покров в окрестностях Томской ГРЭС-2, с учетом баланса использования природного газа и угля. Объектом исследования являлся твердый осадок снега, содержащий осевшие атмосферные частицы. Элементный состав твердого осадка снега определялся инструментальным нейтронно-активационным анализом (28 элементов) и атомно-абсорбционной спектроскопией (ртуть). Установлена временная зависимость пылевой нагрузки от балансовой доли использованного топлива, природоохраных мероприятий на ГРЭС-2 и количества выпавших осадков в течение зимнего периода. Указано, что техногенная геохимическая специализация твердого осадка снега проявляется в повышенных уровнях накопления U, Ba, Zn, La, Tb, Yb и Sm (10...15 фонов), а также Na, Hg, Ta, Ce, As, Sr и Hf (3...9 фонов) в течение всего периода наблюдения, в условиях сжигания угля более 35 %. Содержание данных элементов в твердом осадке снега формирует среднюю степень загрязнения и умеренно опасную экологическую ситуацию. Основным источником элементов можно рассматривать выбросы ГРЭС-2. Выявлены близкие концентрации элементов в твердом осадке снега и зольных выбросов ГРЭС-2. Предложены мероприятия по улучшению экологической обстановки в изучаемом районе

Ключевые слова: *снеговой покров; твердые частицы; теплоэлектростанция; радиоактивные элементы; редкоземельные элементы; тяжелые металлы; город; загрязнение; твердый осадок снега; выбросы*

Thermal power plants (TPP) are considered as one of the major sources of solid particle inputs in the atmosphere within cities. However, little is known about temporal dynamic of dust pollution and radioactive, rare-earth element concentrations in solid particles within fossil fuel TPP. The aim of this study is analysis of long-term observations (2009–2018) of solid particles composition deposited on snow cover within Tomsk GRES-2 with respect to balance of natural gas and coal used. The authors have studied solid residue of snow cover containing atmospheric particle deposits. Element composition of snow solid residue was determined by instrumental neutron activation analysis (28 elements) and atom-adsorption spectroscopy (mercury). It was revealed the dependence of dust load temporal changing from the balance of fossil fuel used, environmental protection measures and amount of snowfalls. The results show the higher concentrations of U, Ba, Zn, La, Tb, Yb and Sm (10...15 times exceeds the background) and Na, Hg, Ta, Ce, As, Sr and Hf (3...9 times exceeds the background) during the monitoring period when coal balance was up to 35 %. These elements make contribution in the moderately hazardous pollution level. Tomsk GRES-2 emissions could be considered as the main source of these elements. It was determined the similar element concentrations in the snow solid residue and fly ash of GRES-2. Some environmental protection measures were suggested to improve the ecology in the studied area

Key words: snow cover; solid particles; thermal power plant; radioactive elements; rare-earth elements; heavy metals; urban; pollution; solid residue of snow cover; emissions

Введение. Электроэнергия, тепло и горячая вода являются одними из важных компонентов инфраструктуры городских и сельских населённых пунктов. Их производство на ГРЭС, ТЭЦ и небольших котельных приводит к выбросам газовых компонентов и взвешенных (твёрдых) частиц в атмосферный воздух. Часто эти объекты располагаются внутри жилой застройки, что увеличивает риск здоровью населения от этих производств [10; 14]. Выбрасываемые мелкодисперсные частицы представляют наибольшую опасность для здоровья, поскольку при их вдыхании возрастает риск хронических заболеваний органов дыхания [3].

Исследования снегового покрова являются актуальными для определения химического состава техногенных выбросов, изучения процессов их переноса и осаждения, влияния на изменение климата, водные/почвенные системы и здоровье человека [2; 4; 6–8; 11]. Многими исследователями показано, что снеговой покров является удобным индикатором для оценки уровня загрязнения территорий в зоне воздействия ТЭЦ. С. Б. Бортникова с соавторами [2] определили, что в твердой фазе снега из окрестностей Новосибирских ТЭЦ в повышенных концентрациях относительно фона накапливаются Sn, As, Ge, Sb, Sr, I, Br и Mo. В составе выпадений также обнаружены высокие содержания полиароматических и нефтяных углеводородов, перенос

которых происходит в составе как легких, так и относительно тяжелых аэрозольных фракций. Численный анализ данных мониторинга снегового покрова в окрестностях ТЭЦ г. Новосибирск подтвердил формирование полей длительного аэрозольного загрязнения местности [2; 9]. В пробах твердой фазы снега из окрестностей Ново-Иркутской ТЭЦ элементами-индикаторами определены Si, Fe, Mg и Mn [12]. В зоне воздействия Конаковской ГРЭС выявлено, что в снеговых пробах из ближней зоны воздействия (в радиусе 0,5...1 км) отмечаются высокие концентрации V, Fe, Cr, Mn, Mo и Cu [4]. В окрестностях Кызильской ТЭЦ определено, что Zn, Pb, Mn и Co являются преобладающими элементами в твердой фазе снега [8]. В работе Н. Е. Кошелевой с соавторами [7] показано, что ассоциация Sr, Cd, Pb, Co, As и Zn, V, Cu, Cr в снеге на территории г. Улан-Удэ связана с выбросами от сжигания угля.

В опубликованных работах основное внимание уделено изучению концентрации ПАУ, макроэлементов и тяжелых металлов I, II и III класса опасности в снеговом покрове в зоне воздействия угольных ТЭЦ и ГРЭС. Мало работ посвящено наблюдениям в окрестностях городских ГРЭС, использующих смешанный вид топлива и направленных на исследование уровней концентраций в снеговом покрове радиоактивных и редкоземельных элементов.

В Томске одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха является Томская ГРЭС-2, расположенная в жилой застройке центральной части города. Каменный уголь Кузнецкого бассейна и природный газ являются основными видами топлива. С 2006 г. на ГРЭС-2 наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли используемого угля в зимний сезон в топливном балансе. Выбросы осуществляются через две трубы высотой 100 м каждая. По данным площадной снегогеохимической съемки в 2007 г. нами выявлена зона воздействия ГРЭС-2, протягивающаяся в север-северо-восточном направлении, согласно главенствующему направлению ветра (юг-юго-западное) в радиусе до 2 км. С 2009 г. проводится мониторинг загрязнения снегового покрова в этой зоне.

В данной статье представлен анализ десятилетних наблюдений (2009–2018) изменения пылевой нагрузки и элементного состава твердых частиц, осевших на снеговой покров в окрестностях Томской ГРЭС-2, с учетом баланса использования в технологическом процессе природного газа и угля.

Методы и методика исследования. Маршруты отбора проб снегового покрова в окрестностях Томской ГРЭС-2 располагались с учетом следующих факторов: 1) главенствующее направление ветра (южное и юго-западное); 2) ранее полученные нами результаты площадной снегогеохимической съемки; 3) высота труб (расстояние между пунктами отбора до 20 эффективных высот, согласно РД 52.04.186-89); 4) удаленность от дорог (30...50 м). Отбор проб проводили в северо-восточном направлении на расстоянии 0,73...2,0 км от труб в период с 2009 по 2018 гг. С 2015 г. дополнительно отбор проб осуществляли в северном направлении на расстоянии 0,6...2,1 км, поскольку в структуре «розы ветров» увеличилась повторяемость южных ветров в зимний период (данные метеостанции).

Отбор и подготовку проб проводили в соответствии с руководящим документом РД 52.04.186-89, опубликованным работам [2; 6–7; 11; 13; 16] и нашему много-

летнему опыту. Отбор проб осуществляли в конце февраля – начале марта, до начала массового снеготаяния, на всю глубину снежной толщи, за исключением 5 см слоя над почвой (метод шурфа). Масса каждой пробы составляла 17...18 кг. В лаборатории пробы снега таяли при комнатной температуре, затем снеготалую воду фильтровали (фильтр типа «синяя лента») для получения твердого осадка снега (твердой фазы снега), который затем просеивали (сито с диаметром ячеек 1 мм) и взвешивали. В 2012 г. отобраны отходы (зола-уноса и шлак) на ГРЭС-2 для анализа.

Элементный состав проб твердого осадка снега и отходов определяли в аккредитованных лабораториях Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» ТПУ. Посредством инструментально нейтронно-активационного анализа осуществлялось определение содержания 28 химических элементов. Концентрация ртути измерена методом атомно-абсорбционной спектроскопии (метод пиролиза).

Обработка данных включала расчет следующих показателей в соответствии с работами Н. С. Касимова, Ю. Е. Саета и др. [6; 11]. Данные инструментальных измерений использовались для расчета пылевой нагрузки (P_n , мг/м² в сут.) по формуле (1)

$$P_n = P_o / S \times t, \quad (1)$$

где P_o – масса твердого осадка снега, мг;
 S – площадь шурфа, м²;

t – время от даты снегостава до даты отбора проб, сут.

Коэффициент концентрации (K_c), характеризующий аномальное содержание элементов в пробах относительно фона, рассчитывали по формуле (2)

$$K_c = C / C_\phi, \quad (2)$$

где C – содержание элемента в пробе, мг/кг;
 C_ϕ – фоновое содержание, мг/кг.

Проводится расчет суммарным показателем загрязнения снегового покрова изучаемыми элементами (Z_c) по формуле (3)

$$Z_c = \sum K_c - (n-1), \quad (3)$$

где n – число элементов с $K_c > 1,5$. Если значение $K_c > 1,5$, это свидетельствует о

локальном источнике поступления элементов.

В качестве фоновых значений пылевой нагрузки и содержания элементов использовали ранее полученные данные, которые защищены в двух кандидатских и докторской диссертациях. По величинам P_n и Z_c определяют степень загрязнения и экологической опасности территории согласно градациям [11] с дополнениями [6]. Оценку различий содержания элементов в пробах по годам проводили с помощью непараметрических критериев Колмогорова-Смирнова и Манн-Уитни в пакете STATISTICA 7.0.

Результаты и их обсуждение. Пылевая нагрузка. Среднее, минимальное и максимальное значение пылевой нагрузки в окрестностях Томской ГРЭС-2 с 2009 по

2018 гг. представлено на рис. 1. Анализ многолетних наблюдений показал, что в окрестностях ГРЭС-2 формируется низкая степень пылевого загрязнения согласно градации (менее 250 мг/м^2 в сут.) [6; 11]. Однако средняя величина пылевой нагрузки превышает фон (7 мг/м^2 в сут.) от 4,7 (2018) до 16,5 (2009) раз. В период с 2009 по 2011 гг. выявлено превышение среднегородского значения в два раза (63 мг/м^2 в сут.). В период с 2012 по 2015 гг. пылевая нагрузка находится близко к уровню среднегородского значения, тогда как с 2016 по 2018 гг. она становится в два раза ниже среднего значения для г. Томск.

Анализ динамики также показал, что среднее значение величины пылевой нагрузки статистически значимо снизилось в 3,5 раза в период с 2009 по 2018 гг.

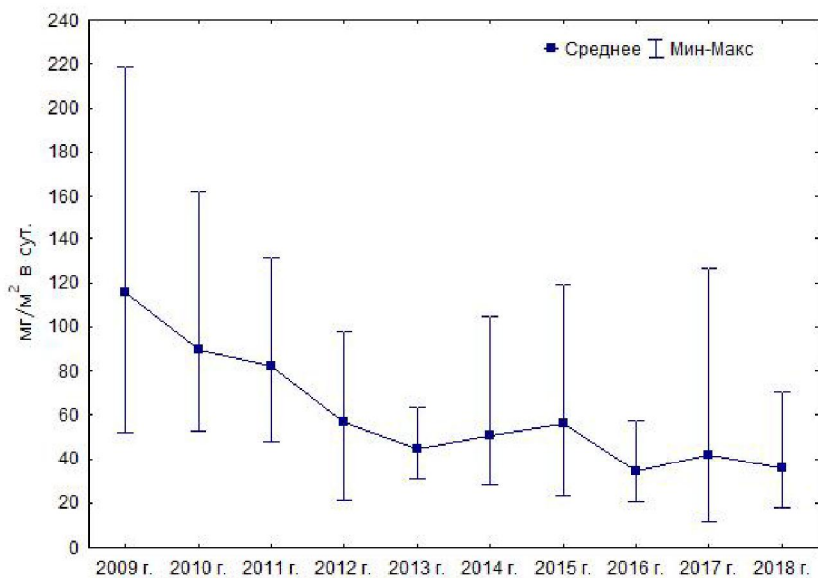


Рис. 1. Диаграмма размаха пылевой нагрузки на снеговой покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2018 гг. / Fig. 1. Box plot of dust load within Tomsk GRES-2 from 2009 to 2018

Ранее нами выявлен резкий спад пылевой нагрузки с 2012 г. по сравнению с данными предыдущих периодов проведения мониторинга (2009–2011). В период с 2012 по 2018 гг. значение пылевой нагрузки существенно не изменилось, за исключением зимних сезонов 2015–2016 и 2017–2018 гг., когда определены ее ми-

нимальные значения. Резкий характер изменения пылевой нагрузки с 2012 г. может быть обусловлен следующими факторами. Во-первых, с 2010 по 2011 гг. осуществлялась модернизация системы пылегазоулавливания на Томской ГРЭС-2. Во-вторых, баланс использования доли угля и природного газа является важным фактором. В

зимний сезон 2011–2012 гг. произошло увеличение доли использования природного газа в технологическом процессе ГРЭС-2 по сравнению с таковыми для других периодов наблюдения (рис. 2). Следовательно, использование большей доли природного газа могло привести к снижению уровня пылевого загрязнения. В-третьих, на изменение выпадения пыли на снеговой покров

может оказывать влияние количество выпавших в зимнее время осадков. По данным метеостанции города в зимние сезоны 2011–2012, 2015–2016 и 2017–2018 гг. было наименьшее количество осадков в течение периода наблюдений, что могло оказать влияние на соотношение процессов «сухого» и «влажного» осаждения пыли из атмосферы.

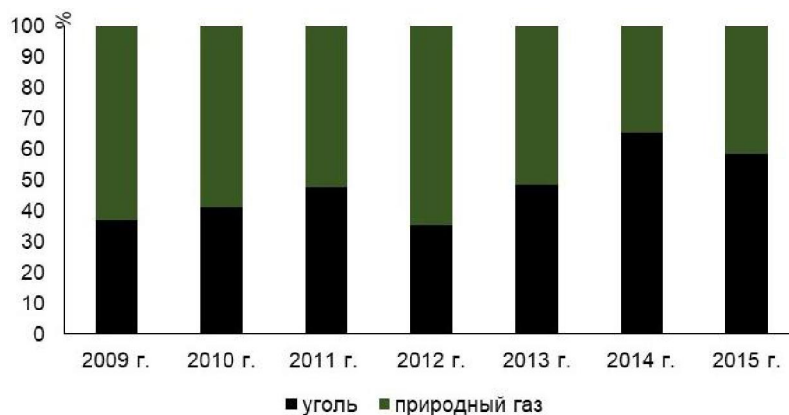
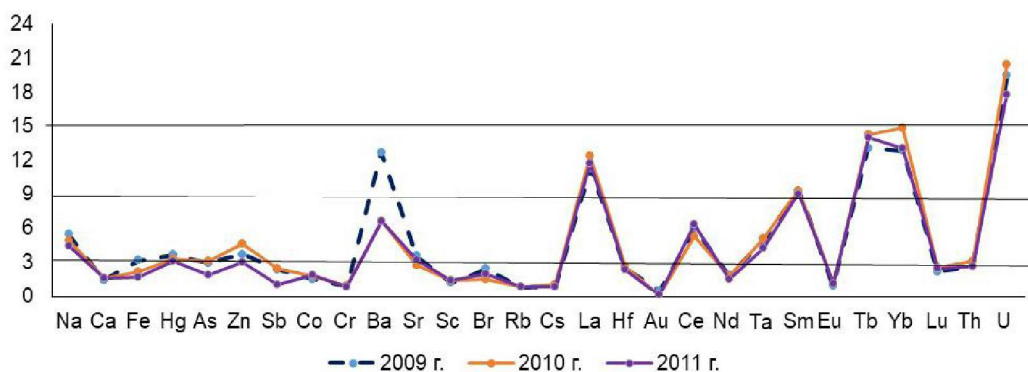


Рис. 2. Баланс использования топлива на Томской ГРЭС-2 в зимние сезоны (ноябрь-март) с 2009 по 2015 гг. (материалы ГРЭС-2) / Fig. 2. Balance of fuel used at Tomsk GRES-2 in the winter seasons (November-March) from 2009 to 2015 (data from GRES-2)

Элементный состав. Содержания большинства изучаемых элементов в пробах превышают фоновые значения в течение всего периода наблюдения (рис. 3). За весь период наблюдения по средним значениям K_c в пробах наиболее сильно накапливаются U ($K_c = 15,9-21,4$), Ba, Zn, La, Tb, Yb и Sm ($K_c = 10-15$). В группу концентрирующихся элементов входят Na, Hg, Ta, Ce, As, Sr, Zn и Hf ($K_c = 3-9$). Менее активно

накапливаются Ca, Fe, Lu, Nd, Sb, Co и Br ($K_c = 1,5-3$). Перечисленные элементы образуют между собой значимые корреляционные связи, указывая на единый техногенный источник их поступления. Содержание Sc, Eu, Cs, Cr, Rb и Au близко к фоновым или ниже таковых, что отражает общий геохимический фон исследуемой территории.



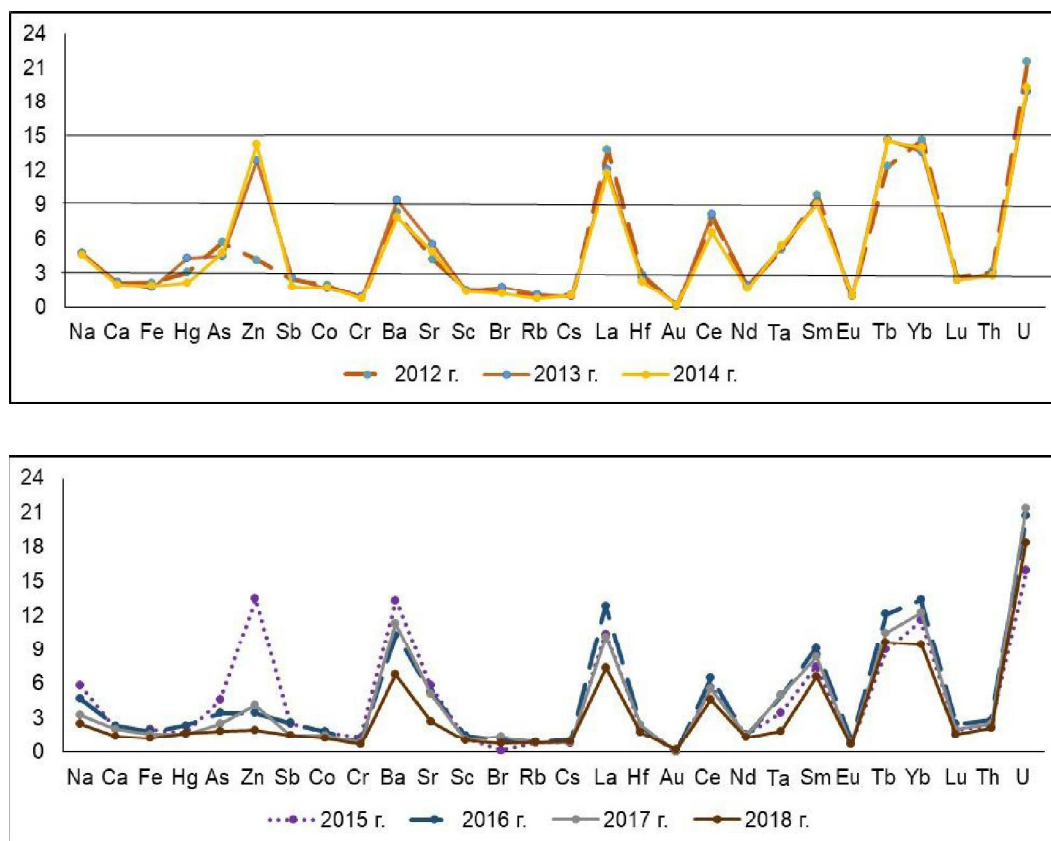


Рис. 3. Коэффициенты концентраций элементов в пробах твердого осадка снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 (2009–2018) / Fig. 3. Concentration coefficient in the snow solid residue samples within Tomsk GRES-2 (2009–2018)

Выявлена тенденция минимального уровня накопления изучаемых элементов в пробах, отобранных в 2018 г. в окрестностях Томской ГРЭС-2. Содержание Ca, Na, Fe, Hg, As, Zn и Sr в пробах наиболее статистически значимо неравномерно распределено по годам (с 2009 по 2018 гг.), что может быть связано с разными источниками их поступления или изменением геохимических свойств элементов в зависимости от параметров окружающей среды. Концентрации остальных элементов в пробах статистически незначимо изменяются в период с 2009 по 2017 гг., что может свидетельствовать о постоянном источнике их поступления, а также показывает отсутствие зависимости их поступления от баланса использования угля на ГРЭС-2.

Низкие уровни накопления элементов в пробах в 2018 г. отражают и статистически значимо низкое значение суммарного показателя загрязнения ($Z_c = 67,2$) в 2017 г. по сравнению с данными для других периодов исследования (рис. 4).

В целом, с 2009 по 2017 гг. средние значения Z_c находятся в диапазоне 97–123, что свидетельствует о средней степени загрязнения и умеренно опасной экологической ситуации в изучаемом районе ($Z_c = 64–128$ [6; 11]). В течение всего периода наблюдения наибольший вклад в суммарный показатель загрязнения вносят элементы, интенсивно концентрирующиеся в пробах, на уровне более трех фонов (рис. 3).

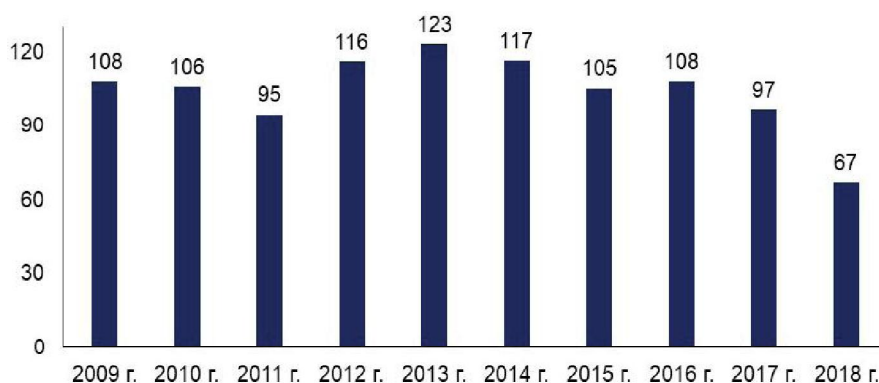


Рис. 4. Динамика суммарного показателя загрязнения снегового покрова в окрестностях Томской ГРЭС-2 (2009–2018) / Fig. 4. Dynamic of total pollution factor for snow cover within Tomsk GRES-2 (2009–2018)

Наблюдаемая геохимическая ассоциация в пробах твердого осадка снега (U, Th, Ba, Yb, Tb, La, Ta, Sm, Ce, Lu, Na, Sr, Nd, As, Sb, Hf, Hg) с большей долей вероятности отражает геохимическую специализацию Сибирских углей и их зол [1]. Тяжелые металлы, радиоактивные и редкоземельные элементы являются элементами-примесями в составе угля [1; 15] и встречаются в форме самородных металлов, сульфидов, сплавов металлов, а также сплавов металлов с неметаллами [5]. Макроэлементы (Ca, Na, Fe) являются породообразующими элементами и могут также содержаться в углях в виде минеральных фаз [1; 5; 15].

Использование мазута на ГРЭС-2 в качестве растопочного топлива также может являться источником Br. Поступление Hg может происходить как за счет сжигания угля, так и природного газа, поскольку этот элемент является примесным в обоих видах топлива [15].

Определено, что Zn, Hg и Tb концентрируются в основном в золе-уноса, а Cr, Co, Br, Sb и Au – в составе шлака в топочных камерах Томской ГРЭС-2 (рис. 5). Выявлена высокая сходимость содержаний большинства изучаемых элементов в золе-уноса ГРЭС-2 и в твердом осадке снега из ее окрестностей (рис. 5).

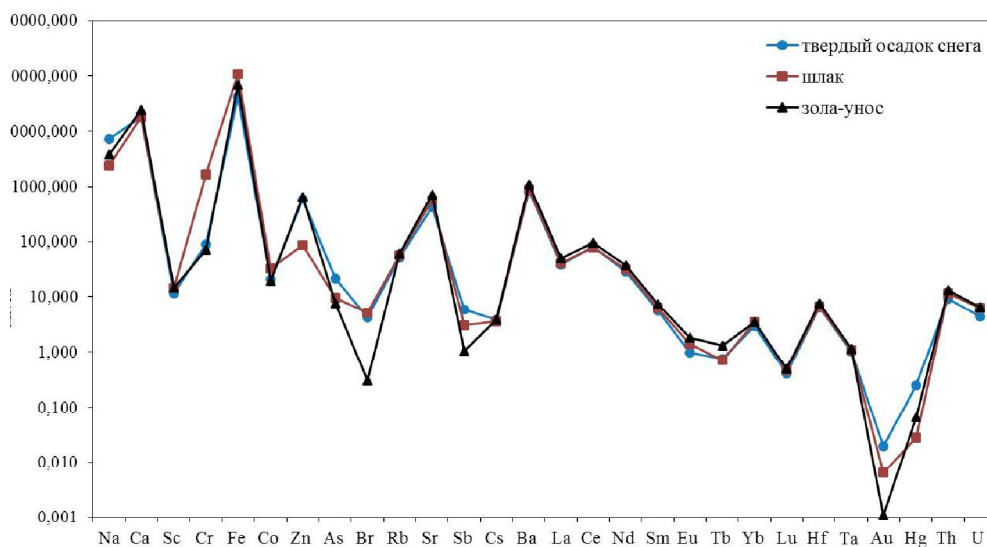


Рис. 5. Элементный состав проб твердого осадка снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 и отходов (2012) / Fig. 5. Element composition of solid snow residue within Tomsk GRES-2 and wastes (2012)

Это может свидетельствовать о поступлении элементов в составе выбросов и последующем их осаждении из атмосферы на снеговой покров. При сжигании угля элементы-примеси могут миновать системы очистки и выбрасываться в атмосферу в составе парогазовой фазы продуктов сгорания и мельчайшей фракции золы-уноса [15]. Источником поступления пыли с комплексом химических элементов может являться ветровой перенос с открытого угольного склада, воздействие которого более ощутимо в северном направлении от ГРЭС-2. Снижение воздействия этого склада возможно при условии создания закрытого бункера для складирования и хранения угля.

Не исключаются дополнительные источники поступления некоторых элементов на территории исследования. Выдувание противогололедных средств может являться источником Na и Ca, истирание шин автотранспорта — Zn и Sb, выбросы автотранспорта — Br [6; 11].

Выводы. В результате проведенных многолетних наблюдений (2009–2018) загрязнения снегового покрова в окрестностях Томской ГРЭС-2, использующей уголь и природный газ, можно сделать следующие выводы.

1. Произошло значительное снижение пылевой нагрузки в период с 2009 по 2018 гг. Изменение величины пылевой нагрузки во времени зависит от комплекса параметров — балансовая доля использования природного газа и угля, совершенствование пылегазоочистного оборудования и количества выпавших осадков в течение зимнего периода.

2. Выбросы ГРЭС-2 на протяжении многих лет являются источником накопления в снеговом покрове в ее окрестностях ряда элементов I, II, III класса опасности (Hg, As, Sr, Zn, Sb, Co Ba), радиоактивных (U, Th) и редкоземельных элементов (La, Tb, Yb, Sm, Ta, Ce, Hf, Lu, Nd), отражающих геохимическую специализацию углей и зольных уносов. Данные элементы могут являться индикаторными при идентификации источников загрязнения в условиях городской среды.

3. Сохраняется близкий уровень концентраций Ba, Sr, Sb, U, Th и выделенных редкоземельных элементов в твердом осадке снега в течение всего периода наблюдения при условии использования угля более 35 %. Не выявлена закономерность в накоплении в твердом осадке снега таких летучих элементов, как As и Hg, по годам.

4. Степень обогащения твердого осадка снега изучаемым спектром элементов, которая оценивается суммарным показателем загрязнения, соответствует средней степени загрязнения и умеренно опасной экологической ситуации на протяжении всего периода наблюдений.

5. В качестве рекомендаций для снижения возможного негативного влияния выбросов ГРЭС-2 целесообразно предусмотреть продолжение внедрения современной системы очистки выбросов, пылеподавления при разгрузке, хранении и транспортировке угля, увеличение доли природного газа в топливном балансе в зимние сезоны, а также проводить ландшафтное озеленение промышленной территории.

Список литературы

1. Арбузов С. И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2007. № 1. С. 77–83.
2. Бортникова С. Б., Рапута В. Ф., Девятова А. Ю., Юдахин Ф. Н. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2009. № 6. С. 515–525.
3. Величковский Б. Т. Патогенетическое значение пиковых подъемов среднесуточных концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе населенных мест // Гигиена и санитария. 2002. № 6. С. 14–16.
4. Гришанцева Е. С., Сафронова Н. С., Киришничкова Н. В. Влияние атмосферных выбросов Конаковской ГРЭС на состояние снегового покрова района Ивановского водохранилища // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геохронология. 2012. № 2. С. 135–142.

5. Ильенок С. С. Самородные элементы в углях и золах углей Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 1. С. 65–71.
6. Касимов Н. С., Кошелева Н. В., Власов Д. В., Терская Е. В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. 2012. № 4. С. 14–24.
7. Кошелева Н. Е., Касимов Н. С., Сорокина О. И., Гунин П. Д., Бажка С. Н., Энх-Амгалан С. Геохимия ландшафтов Улан-Батора // Известия российской академии наук. 2013. № 5. С. 109–124.
8. Мананков А. В., Кара-Сал И. Д. Эколого-геохимическое состояние снежного покрова города Кызыл (Республика Тыва) // Вестник Тувинского государственного университета. 2013. Вып. 3. С. 122–129.
9. Рапута В. Ф., Попова С. А., Макаров М. В., Ярославцева Т. В. Определение связей органического и элементного углерода по секторам выноса атмосферных примесей // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 10. С. 878–882.
10. Ревич Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2010. № 4. С. 87–89.
11. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
12. Филимонова Л. М., Паршин А. В., Бычинский В. А. Оценка атмосферного загрязнения методами геохимической съемки снегового покрова в районе алюминиевого производства // Метеорология и гидрология. 2015. № 7–2. С. 75–84.
13. Шевченко В. П., Воробьев С. Н., Кирпотин С. Н., Крицков И. В., Манасыпов Р. М., Покровский О. С., Политова Н. В. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 26, № 6. С. 499–504.
14. Шестериев Д. М., Лапкин Г. И. Геоэкологические проблемы реконструкции тепловых электростанций объединенной энергетической системы и пути их решения (на примере ТЭЦ-1, г. Чита) // Вестник Читинского государственного университета. 2009. № 1. С. 156–160.
15. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 655 с.
16. Янченко Н. И., Тимкина Е. В., Носырева Е. В., Шерстянкина Н. П., Ширшков А. И. О поступлении и распределении техногенного фтора в снежном покрове и атмосферных осадках в Иркутской области (на примере Братска) // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1. С. 152–157.

References

1. Arbutov S. I. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* (News of Tomsk Polytechnic University), 2007, no. 1, pp. 77–83.
 2. Bortnikova S. B., Raputa V. F., Devyatova A. Yu., Yudakhin F. N. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* (Geocology, engineering geology, hydrogeology, geocryology), 2009, no. 6, pp. 515–525.
 3. Velichkovsky B. T. *Gigiena i sanitariya* (Hygiene and sanitation), 2002, no. 6, pp. 14–16.
 4. Grishantseva E. S., Safronova N. S., Kirpichnikova N. V. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* (Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology), 2012, no. 2, pp. 135–142.
 5. Ilyonok S. S. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* (News of the Tomsk Polytechnic University), 2013, no. 1, pp. 65–71.
 6. Kasimov N. S., Kosheleva N. V., Vlasov D. V., Terskaya E. V. *Vestnik Moskovskogo universiteta* (Bulletin of the Moscow University), 2012, no. 4, pp. 14–24.
 7. Kosheleva N. E., Kasimov N. S., Sorokina O. I., Gunin P. D., Bazha S. N., Enkh-Amgalan S. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk* (News of the Russian Academy of Sciences), 2013, no. 5, pp. 109–124.
 8. Manankov A. V., Kara-Sal I. D. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Tuva State University), 2013, issue. 3, pp. 122–129.
 9. Raputa V. F., Popova S. A., Makarov M. V., Yaroslavl'tseva T. V. *Optika atmosfery i okeana* (Optics of the Atmosphere and Ocean), 2017, vol. 30, no. 10, pp. 878–882.
 10. Revich B. A. *Problemy prognozirovaniya* (Problems of forecasting), 2010, no. 4, pp. 87–89.
 11. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* (Environmental Geochemistry). Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
 12. Filimonova L. M., Parshin A. V., Bychinsky V. A. *Meteorologiya i gidrologiya* (Meteorology and Hydrology), 2015, no. 7–2, pp. 75–84.
 13. Shevchenko V. P., Vorobiev S. N., Kirpotin S. N., Kritskov I. V., Manasypov R. M., Pokrovsky O. S., Politova N. V. *Optika atmosfery i okeana* (Optics of the Atmosphere and the Ocean), 2015, vol. 26, no. 6, pp. 499–504.
-

14. Shesternev D. M., Lapkin G. I. Vestnik CHitGU (Bulletin of the ChitSU), 2009, no. 1, pp. 156–160.
15. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Tóksichnye elementy-primesi v uglyah* (Toxic elements-impurities in coal). Yekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2005. 655 p.
16. Yanchenko N. I., Timkina E. V., Nosyreva E. V., Sherstyankina N. P., Shirshkov A. I. *Sistemy. Metody. Tehnologii* (Systems. Methods Technology), 2016, no. 1, pp. 152–157.

Коротко об авторах

Таловская Анна Валерьевна, канд. геол.-минер. наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Область научных интересов: геоэкология, геохимия аэрозолей, снегового покрова, экогеохимия
talovskaj@yandex.ru

Язиков Егор Григорьевич, д-р геол.-минер. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Область научных интересов: геоэкология, геология
yazikoveg@tpu.ru

Филимоненко Екатерина Анатольевна, канд. геол.-минер. наук, старший преподаватель, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Область научных интересов: геоэкология, экогеохимия
filimonenkoea@mail.ru

Briefly about the authors

Anna Talovskaya, candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: geoecology, geochemistry of aerosols, snow cover, ecogeochemistry

Egor Yazikov, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: geoecology, geology

Ekaterina Filiminenko, candidate of geological and mineralogical sciences, senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: geoecology, ecogeochemistry

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 16-45-700184 p_a)
на период исследования с 2016 по 2018 гг.

Образец цитирования

Таловская А. В., Язиков Е. Г., Филимоненко Е. А. Динамика загрязнения снегового покрова микроэлементами в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25. № 2. С. 44–53. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-44-53.

Talovskaya A., Yazikov E., Filiminenko E. Dynamic of snow pollution by trace elements within thermal power plant (case study: TOMSK GRES-2) // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 44–53. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-44-53.

Статья поступила в редакцию: 23.08.2018 г.
Статья принята к публикации: 24.01.2019 г.