

УДК 504.4:546.49:665.65.013 (574.25) (551.578.46)

ОЦЕНКА РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (НА ПРИМЕРЕ Г. ПАВЛОДАРА, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Шахова Татьяна Сергеевна¹,
tatyana29@yandex.ru

Таловская Анна Валерьевна¹,
talovskaj@yandex.ru

Язиков Егор Григорьевич¹,
yazikoveg@tpu.ru

Филимоненко Екатерина Анатольевна¹,
filimonenkoea@mail.ru

Ляпина Елена Евгеньевна²,
eeldv@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3.

Актуальность. Ртуть в последнее время привлекает больше внимания исследователей из-за высокой токсичности и биоаккумуляции. Выброс Hg в атмосферу в основном происходит за счет сжигания угля и нефтепродуктов. Уровень ртутного загрязнения за счет поступления твердых выбросов в районах расположения нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексов на данный момент мало изучен, однако эти объекты являются одним из потенциальных источников поступления данного токсичного элемента. Это обуславливает важность проведения данных исследований.

Цель работы: оценить ртутное загрязнение в окрестностях предприятий нефтехимического комплекса в зимний период (на примере г. Павлодара, Республика Казахстан) по данным исследования снежного покрова как накопителя твердых частиц.

Методы исследований: отбор снеговых проб, таяние проб при комнатной температуре, фильтрация с помощью беззольного фильтра типа «синяя лента», высушивание и взвешивание проб, атомно-абсорбционный метод с использованием анализатора ртути РА-915+ и приставкой ПИРО-915 для определения содержания ртути в пробах, для обработки анализа данных использовалась прикладная программа «STATISTICA 8», расчет эко-геохимических показателей: коэффициент концентрации, среднесуточный поток ртути, коэффициент относительного увеличения общей нагрузки элемента, коэффициент аэрозольной аккумуляции.

Результаты. Содержание ртути в твердом осадке снега в окрестностях изучаемых предприятий варьируется в широком диапазоне и превышает фон от 1,5 до 7 раз. Величина среднесуточного выпадения ртути на снежный покров изменяется от 4,9 до 221, мг/(км²·сут); установлен характер распределения ртути в пробах твердого осадка снега, отобранных в окрестности Павлодарского нефтехимического завода. Максимальный показатель выявлен в пробе, отобранной на расстоянии 1,5 км в северо-восточной зоне, превышающий фоновый в 48 раз. Высокое содержание ртути в пробах твердого осадка снега может быть связано со сжиганием газа на факелах предприятий нефтеперерабатывающего комплекса, а также не исключается перенос ртути с выбросами угольной ТЭЦ-3, расположенной на расстоянии 500 м от нефтехимического завода. Возможной формой поступления ртути с выбросами нефтехимического и нефтеперерабатывающего заводов может являться ртуть Hg⁰, адсорбированная на поверхности частиц, поступающих от факельного сжигания газа.

Ключевые слова:

Ртуть, нефтехимический завод, нефтеперерабатывающий завод, снежный покров, фактор обогащения, источники загрязнения атмосферы.

Введение

В настоящее время ртуть и ее соединения являются одним из наиболее опасных веществ в окружающей среде [1]. Ртуть поступает в атмосферу от естественных и антропогенных источников и в последнее время привлекает больше внимания исследователей из-за своей высокой токсичности и биоаккумуляции [2]. Более 95 % ртути присутствует в атмосфере в газообразной форме в виде элементарной ртути Hg⁰. Существует реактивная газообразная форма, состоящая из различных окисленных форм Hg (II). Кроме того, ртуть поступает в ат-

мосферу в виде Hg⁰, адсорбированной на поверхности частиц, а также может содержаться в органических соединениях (метилртуть) [3].

Основными природными источниками ртути являются общая дегазация земной коры и океана, вулканическая деятельность, ртутные месторождения, а также выветривание и эрозия горных пород. Ртуть в природе – рассеянный элемент, концентрирующийся в сульфидных рудах, преимущественно в виде киновари (HgS). Современные антропогенные выбросы ртути в атмосферу соизмеримы с поступлением ртути в окружающую среду

в результате естественных процессов. В связи с тем, что большинство промышленных процессов являются высокотемпературными, выброс ртути в атмосферу происходит в виде газообразных (<1 мкм) или мелкодисперсных (<5 мкм) форм, более крупные металлсодержащие аэрозоли (>10 мкм) частично удаляются золо- и пылеулавливающим оборудованием. При попадании в атмосферу крупные пылевые частицы оседают непосредственно вблизи источника, а мелкие могут распространиться на несколько десятков километров [1].

Во многих работах [4–7] указывается, что сжигание угля является одним из самых значительных антропогенных источников выбросов ртути в атмосферу. Например, исследования в Японии, Китае и Австралии указывают, что большой вклад в поступление ртути вносят угольные электростанции [1, 8–9]. Мировой выброс ртути при сжигании топлива составляет 1,44 тыс. тонн в год [10]. За счет сжигания угля в атмосферу выделяется 3000 тонн ртути в год, тогда как за счет сжигания нефтепродуктов – 1250 тонн в год [1]. Некоторыми исследователями также доказано негативное воздействие ртути на здоровье человека [11, 12]. Например, неорганические соединения ртути быстро накапливаются в почках. Также поступление паров ртути сопровождается приступами бронхита и пневмонии. Отравления ртутью могут привести к поражению центральной нервной системы, нарушению зрения, слуха [10]. За рубежом проводятся многочисленные исследования, направленные на изучение степени влияния ртути на здоровье работников золотодобывающих шахт и на детей, проживающих в районах добычи золота [13–15].

В настоящее время исследователи обращают внимание на выбросы нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов как источников поступления ртути в окружающую среду. Например, в южном Каспии, на Бакинской бухте, являющейся огромным резервуаром отходов переработки нефти, была установлена высокая концентрация ртути в донных отложениях [16]. Работы по оценке поступления ртути в атмосферу с твердыми выбросами нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов содержат недостаточную степень изученности [17]. Например, проведенные исследования твердого осадка снега г. Ангарска отразили высокое содержание ртути в районе расположения АО «Ангарская нефтехимическая компания» [17]. Исследования снежного покрова на территории г. Уфы показали, что крупнейшая промышленная зона в северной части города имеет значительные размеры аномалий по ртути. Авторы связывают это с функционированием крупных нефтехимических и нефтеперерабатывающих и других заводов, расположенных в этой зоне [18]. Аналогичные исследования проводились в г. Томске, где наибольшее содержание ртути в твердом осадке снежного покрова зафиксировано в районе расположения ООО «Томскнефтехим» [19].

Анализ иностранной литературы подтвердил факт недостаточной изученности объектов нефтехимии и нефтепереработки как источников поступления ртути в атмосферный воздух [4–9, 12–15].

Поэтому нами был выбран Павлодарский нефтехимический завод, расположенный в северном промышленном узле города. На территории Павлодарской области в результате деятельности хлор-щелочного производства на бывшем химическом заводе в течение 1975–1994 гг. в окружающую среду поступило около 1310 тонн ртути [20, 21]. Эта ртуть накапливалась под корпусом электролизного производства, загрязняла почву и воздух промышленной площадки, разносилась ветром с мест складирования ртутных отходов и поступала в подземные и поверхностные воды.

В настоящее время и последующие годы важно отслеживать уровень содержания ртути в объектах окружающей среды, в том числе и атмосфере, сложившийся после проведения программы демеркуризации, а также осуществлять мониторинг за уровнем риска, исходящего от остаточного ртутного загрязнения, для здоровья населения, проживающего в северном пригороде Павлодара. Ранее, во время проведения исследований по уровню загрязнения ртутью в северном пригороде города, не учитывали её долю вклада при переработке нефтепродуктов. Потому оценка загрязнения атмосферного воздуха ртутью в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода является актуальной проблемой.

Снег считается идеальной матрицей для наблюдения осадений из атмосферы. Атмосферные твердые частицы в снеге разбавлены чистой водой, и не присутствуют частички верхнего слоя земли, за исключением нижних слоев снежного покрова, так что состав атмосферного осадения может быть однозначно измерен, вплоть до очень низких концентраций. Снежинки накапливают больше загрязняющих веществ из атмосферы, чем дождевые капли, из-за большей площади поверхности покрытия и скорости падения [22]. Делая вывод из материалов литературы [23, 24], отметим, что снег является важным элементом при мокром осаждении частиц ртути и ее перемещении из атмосферы на поверхность снежного покрова. Снегопад может собирать ртуть за счет возрастания кристаллов или вымывания, усиливая отложение ртути на территории [25]. Таким образом, снежный покров может выступать в качестве поглотителя ртути и ее временного резервуара [26].

Необходимо оценить уровень накопления ртути в снежном покрове в зоне северного промышленного узла г. Павлодара, на территории которой расположен ряд крупных предприятий различного профиля, выбросы которых загрязняют воздушный бассейн района. Целью нашей работы являлась оценка ртутного загрязнения в окрестностях нефтехимического комплекса в зимний период по данным исследования твердого осадка снежного покрова, обновление данных, характе-

ризующих ртутную нагрузку на исследуемый ландшафт. Для этого были поставлены следующие задачи: выявить степень загрязнения ртутью атмосферного воздуха на территории северного промышленного узла г. Павлодара; определить пункты отбора проб с максимальными показателями содержания ртути и среднесуточного выпадения ртути и установить возможные источники поступления.

Объект и методы исследования

Отбор проб снега проводился в окрестностях нефтехимического завода, ТОО «Компания Нефтехим LTD», АО «Каустик» и ТЭЦ-3, расположенных на территории северного промышленного узла г. Павлодара, в 6 км от города. Павлодарский нефтехимический завод является одним из крупных предприятий в Казахстане по переработке и производству нефтепродуктов. По технологии завод ориентирован на переработку западносибирской нефти. На расстоянии 300 м от нефтехимического завода функционирует ТОО «Компания Нефтехим LTD» – единственное предприятие в Казахстане по производству метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ), который используется в качестве кислородсодержащего высокооктанового компонента при получении автомобильных бензинов, полипропилена, а также полипропиленовых мешков двух видов. На базе бывшего Павлодарского химического завода, расположенного в 1,5–2 км от указанных предприятий, расположено АО «Каустик» – единственный отечественный производитель хлор-щелочной продукции, работающий на территории Республики Казахстан. В производственном процессе используется технология мембранного электролиза, выпускающей продукцией являются: каустическая сода, жидкий хлор, соляная кислота и гипохлорит натрия. Еще одним крупным предприятием, производящим тепловую и электрическую энергию, в данном промышленном узле является ТЭЦ-3. Основным сырьем, используемым в производстве тепла и энергии, является каменный уголь Экибастузского бассейна.

Для решения поставленной цели в 2015 году был организован отбор проб снежного покрова с территории северного промышленного узла г. Павлодара, включающего вышеперечисленные предприятия. Основное внимание было направлено на нефтехимический завод, поэтому пункты отбора проб выбирали с учетом его расположения, высоты факела, господствующих ветров согласно РД [27]. Выбор пунктов был также обусловлен доступностью расположения промышленных объектов и старых нефункционирующих зданий и удаленностью от дороги (рис. 1). Относительно объекта исследования были выделены северо-восточная и юго-западная зоны.

Для оценки возможного ртутного загрязнения в ближайшем населенном пункте, с. Павлодарское, находящемся на расстоянии 3 км от северо-промышленного узла, были отобраны пять проб

снежного покрова (рис. 1). Фоновым участком был выбран населенный пункт Лебяжье, находящийся на расстоянии 80 км от города в юго-западном направлении, где было отобрано 5 проб снега. Всего было отобрано 17 проб снега.

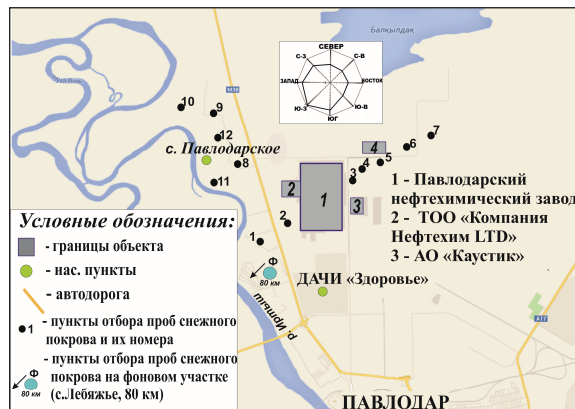


Рис. 1. Карта пунктов отбора проб снежного покрова в окрестности Павлодарского нефтехимического завода, 2015 г.

Fig. 1. Map of sampling points of snow cover in the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant, 2015

Пробы отбирали по методу шурфа на всю мощность снежного покрова, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой. Средняя площадь шурфа составляла 42–48 см, а глубина – 45–48 см. Пробы снега были герметично упакованы в полиэтиленовые мешки. Образцы снега были растоплены при комнатной температуре в пластмассовой таре, каждый из которых обеспечивал до 10–12 литров воды. Избыточная чистая вода сливалась, а оставшая часть, около 2–3 литров, с примесями, проходила процесс фильтрации на предварительно взвешенном беззольном фильтре типа «синяя лента». Оставшийся твердый осадок снега высушивался при комнатной температуре. Затем пробы просеивали через сито с размером ячейки 1 мм.

Во время отбора проб и их подготовки к анализу использовали методические рекомендации [28], руководство по контролю загрязнения атмосферы [29], а также учитывали опыт многолетних исследований [30–33], в том числе в пределах Западной Сибири [19, 34–36].

Определение содержания ртути в пробах твердого осадка снега осуществлялось атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915+ с приставкой ПИРО-915- с применением программного обеспечения RA915P. Исследования проводились в лаборатории микроэлементного анализа международного инновационного научного образовательного центра «Урановая геология» на базе кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ. Измерения выполнялись согласно методикам ПНД Ф 16.1:2.23–2000 и М 03–05–2005 [37, 38]. Проба бралась весом от 30 до 50 мг. Перед началом работы на анализаторе выполнялся кон-

троль стабильности градуированного коэффициента. Измерение для каждой пробы проводилось 3 раза, в качестве результирующего значения бралось среднеарифметическое.

Для интерпретации и анализа данных проводилась их статистическая обработка с использованием программы STATISTICA 8 и визуализация. Определены статистические характеристики распределения ртути для исследуемого участка: средние значения, стандартное отклонение и стандартная ошибка среднего. Для математических вычислений результатов данных использовалась прикладная программа Microsoft Excel.

Проводился расчет эко-геохимических показателей согласно работам [19, 30, 33–35]. Для выявления аномального уровня содержания ртути был рассчитан коэффициент концентрации (КК):

$$KK = C / C_{\phi},$$

где C – содержание ртути в твердом осадке снега, мг/кг; C_{ϕ} – фоновое содержание, мг/кг.

В целях выявления массы ртути, поступающей на снежный покров из атмосферы (кг²·сут), рассчитывали величину общей нагрузки ($P_{\text{общ}}$), (среднесуточного выпадения ртути на снежный покров):

$$P_{\text{общ}} = C \cdot P_{\text{п}}, \text{ мг / (кг}^2 \cdot \text{сут)},$$

где $P_{\text{п}}$ – пылевая нагрузка, мг/(м²·сут). Расчет пылевой нагрузки показан в работе [19].

Рассчитан коэффициент превышения среднесуточного выпадения ртути на снежный покров над фоновым значением:

$$K_p = P_{\text{общ}} / P_{\phi}, \text{ при } P_{\phi} = C_{\phi} \cdot P_{\text{пф}},$$

где $P_{\text{пф}}$ – фоновая пылевая нагрузка; P_{ϕ} – фоновая нагрузка исследуемого элемента, мг/(кг²·сут).

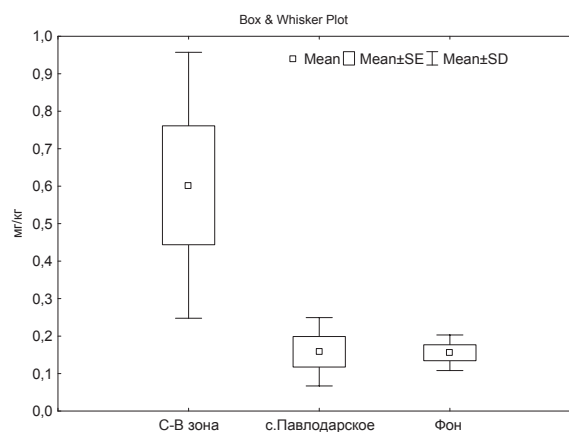
Для оценки степени аккумуляции элементов в аэрозолях применили коэффициент аэрозольной концентрации, предложенный В.В. Добровольским [39]:

$$K_a = C / K_{\kappa},$$

где C – содержание элемента в твердом осадке снега; K_{κ} – кларк элемента верхнего слоя земной коры по [40].

Результаты и их обсуждение

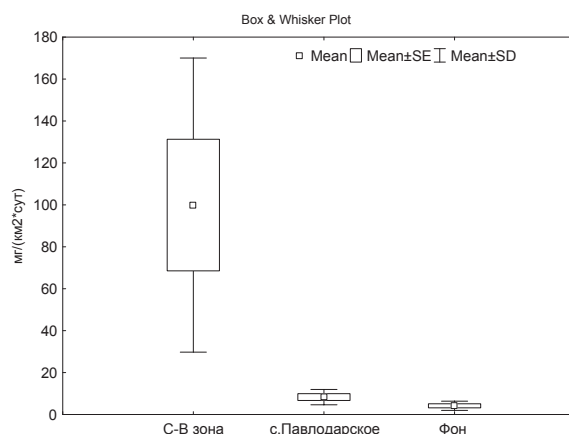
Анализ данных показал, что содержание ртути в твердом осадке снега в окрестностях изучаемых предприятий варьируется в широком диапазоне (рис. 2) и превышает фон от 1,5 до 7 раз (рис. 4). В северо-восточной зоне содержание ртути изменяется от 0,31 до 1,04 мг/кг, в юго-западной составляет 0,22 мг/кг, северо-западной – от 0,03 до 0,26 мг/кг, при фоне 0,15 мг/кг. Максимальное значение приходится на пробы, отобранные на расстоянии 1,5 км – в северо-восточной зоне, где превышение над фоном достигает 7 раз (рис. 4). В пробах с юго-восточной и северо-западной (с. Павлодарское) зон содержание ртути не значительно превышает фон.



Примечание: Mean – среднее значение; Mean±SE – стандартная ошибка; Mean±SD – стандартное отклонение
Note: Mean is the average value; Mean±SE is the standard error; Mean±SD is the standard deviation

Рис. 2. Диаграммы размаха содержания ртути в твердом осадке снега в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода (северо-восточная зона), с. Павлодарское, на фоновом участке, 2015 г.

Fig. 2. Average mercury concentration in snow solid residue in the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant in 2015



Примечание: Mean – среднее значение; Mean±SE – стандартная ошибка; Mean±SD – стандартное отклонение
Note: Mean is the average value; Mean±SE is the standard error; Mean±SD is the standard deviation

Рис. 3. Диаграмма размаха среднесуточного выпадения ртути на снежный покров в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода (северо-восточная зона), с. Павлодарское, на фоновом участке, 2015 г.

Fig. 3. Daily average deposition of mercury to snow cover in the vicinity of Pavlodar petrochemical plant, Pavlodarskoe, in 2015

Величина среднесуточного выпадения ртути на снежный покров изменяется от 4,9 до 221 мг/(кг²·сут) (рис. 3), при фоне 4,2 мг/(кг²·сут) (рис. 5). В северо-восточной зоне среднесуточное выпадение ртути на снежный покров изменяется от 54,04 до 221,98 мг/(кг²·сут), в юго-западной составляет 14 мг/(кг²·сут), северо-западной – от 7,15 и до 14,61 мг/(кг²·сут). Максимальный показатель выявлен в пробе, отобранной на расстоянии 1,5 км – в северо-восточной зоне, превышающий фоновый в

48 раз (рис. 5). Необходимо отметить, что в твердом осадке снега из с. Павлодарское показатель среднесуточного выпадения ртути близок к фоновому. Возможно, это обусловлено направлением преобладающих ветров и переносом незначительной части выбросов от промышленных объектов.

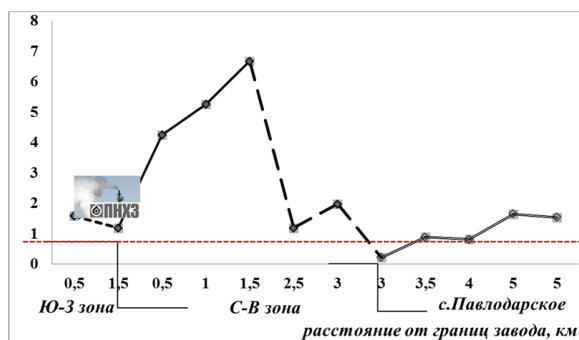


Рис. 4. Коэффициенты концентраций ртути в твердом осадке снега в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода и в с. Павлодарское, 2015 г.

Fig. 4. Coefficients of mercury concentration in snow solid residue in the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant and in Pavlodarskoe in 2015

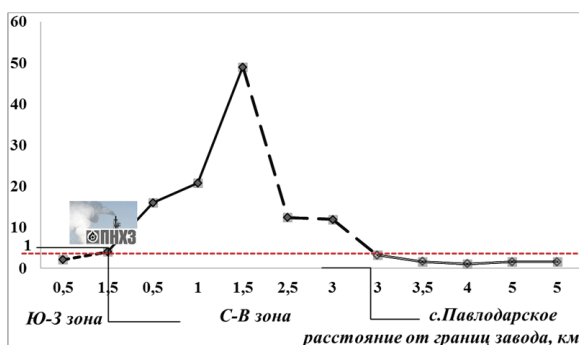


Рис. 5. Коэффициенты превышения выпадений ртути над фоном на снежный покров в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода, 2015 г.

Fig. 5. Ratios of mercury deposition excess above the background on the snow cover in the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant, 2015

Сравнение концентраций ртути в твердом осадке снега из окрестностей Павлодарского нефтехимического завода и с. Павлодарское с его кларком (рис. 6) позволило выявить степень ее аккумуляции. По В.В. Добровольскому [39], средние концентрирующиеся показатели для ртути отмечены в северо-восточной зоне на расстояниях 0,5, 1 и 1,5 км от границ завода, умеренно концентрирующиеся – в юго-западной зоне, северо-восточной зоне на расстоянии 2,5 и 3 км от границ завода и в с. Павлодарское.

На исследуемой территории техногенными источниками ртути, вероятно, являются следующие объекты. С одной стороны, предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли. Согласно работе [41], основным путем поступления атмосферных выбросов ртути в нефтяной и газовой

переработке являются неорганизованные выбросы и газовые факелы при первичных производственных операциях. В работе [42] также подчеркивается, что ртуть в атмосферу поступает от факелов сжигания попутного нефтяного газа. Об этом и свидетельствует аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России [43]. Учитывая что, ртуть может поступать от сжигания нефтяного газа на факелах, можно предположить, что возможной формой поступления ртути с выбросами нефтехимического и нефтеперерабатывающего заводов может являться ртуть Hg^0 , адсорбированная на поверхности частиц, поступающих от факельного сжигания газа. Необходимо отметить: несмотря на то, что ртуть удаляется из большинства нефтепродуктов и природного газа до сгорания, тем не менее выбросы во время переработки нефти и ее продуктов происходят [6]. Максимальная концентрация ртути в нефтях регионов Западной Сибири составляет 0,07 г/т, а в смолисто-асфальтеновых компонентах нефти Западной Сибири колеблется от 50 до $145 \cdot 10^{-3}$ г/т [44]. Принимая это во внимание и учитывая величину переработки нефтепродуктов в России и Казахстане, важно понимать, какое количество ртути может поступать в окружающую среду и в каких формах.

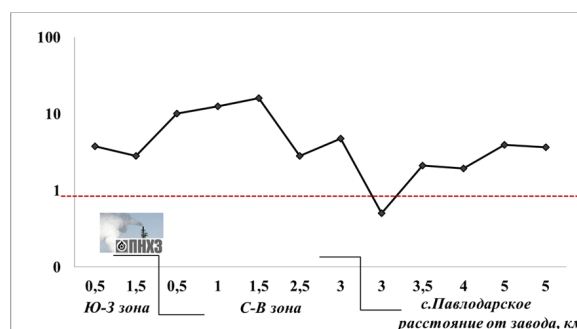


Рис. 6. Коэффициент аэрозольной аккумуляции ртути в твердом осадке снега в окрестностях Павлодарского нефтехимического завода относительно его кларка верхнего слоя земной коры (по Н.А. Григорьеву, 2009 г. [40])

Fig. 6. Coefficient of mercury aerosol accumulation in snow solid residue in the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant relative to Clarke of top layer in the Earth crust (by N.A. Grigoriev, 2009 [40])

С другой стороны, ртуть может поступать и с выбросами от сжигания угля на ТЭЦ, использующей экибастузский уголь. Вероятным источником поступления ртути в атмосферу в районе исследования могут являться выбросы от сжигания угля, поскольку на мелкодисперсных частичках может сорбироваться ртуть [2, 3, 8]. По данным [45], ртуть в экибастузских углях содержится в количестве 0,07 г/т. Именно на расстоянии 1,5 км в северо-восточном направлении, где выбросы ТЭЦ-3 и нефтехимического завода могут максимально перекрываться, фиксируется максимальное выпадение ртути.

Ранее проведенные экологические работы на территории г. Павлодара также показали повышенное содержание ртути в жидкой фазе снега ($3,3 \text{ мкг/дм}^3$) и в почвах ($3,51 \text{ мг/кг}$) из северной промышленной зоны, где функционирует нефтехимический завод, ТЭЦ-3 и завод по производству полипропилена [46].

Исследования в окрестностях нефтехимического завода г. Томска [19] показали, что в пробах твердого осадка снега в районе его расположения содержание ртути является максимальным по городу и составляет $0,41 \text{ мг/кг}$.

Заключение

Проведенные исследования спустя десятки лет выявили явное загрязнение атмосферного воздуха таким токсичным и опасным элементом, как ртуть в северном промышленном узле г. Павлодара. В северо-восточной зоне отчетливо видны повышенные концентрации ртути по отношению к фоновой, которые могут быть связаны с техногенным загрязнением ртутью и направлением преобладающего ветра. Тогда как в пробах из с. Павлодарское

среднее содержание ртути близко к фоновому, за исключением двух ближних пунктов отбора проб (на расстоянии 5 км от границ завода). Указанное незначительное превышение над фоном, возможно, связано с равнинным характером рельефа и способностью переноса мелких частиц на более дальние расстояния.

Анализ данных позволил установить, что накопление ртути в снеговом покрове и ее концентрирование велики (от $0,03$ до $1,04 \text{ мг/кг}$) в непосредственной близости (от $0,5$ до $2,5 \text{ км}$) от нефтехимического завода.

Следует отметить, что дополнительными источниками выявленных высоких концентраций ртути в пробах твердого осадка снега могут являться выбросы ТЭЦ-3 и нефтехимической компании.

Полученные данные могут быть использованы при планировании мероприятий по экологическому мониторингу атмосферного воздуха в северном промышленном узле г. Павлодара, а также для продолжения дальнейшего мониторинга за уровнем риска для здоровья населения, проживающего в северном пригороде Павлодара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМПЭ, 1992. – 169 с.
2. Mercury speciation and emissions from coal combustion in Guiyang, southwest China / T. Shunlin, F. Xinbin, Q. Jianrong, Y. Guoxun, Y. Zaichan // *Environmental Research*. – 2007. – № 105. – P. 175–182.
3. Gratz L.E., Keeler G.J. Sources of mercury in precipitation to Underhill, VT // *Atmospheric Environment*. – 2011. – V. 45. – № 31. – P. 5440–5449.
4. Оценка промышленной эмиссии ртути в Сибири / М.А. Ягольницер, В.М. Соколов, А.Д. Рябцев и др. // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 1995. – № 3. – С. 23–35.
5. Tang S. et al. Actual mercury speciation and mercury discharges from coal-fired power plants in Inner Mongolia, Northern China // *Fuel*. – 2016. – № 1. – P. 194–204.
6. IPIECA (2014). Mercury management in petroleum refining. IPIECA fact sheet, 2014. URL: <http://www.ipieca.org/resources/good-practice/mercury-management-in-petroleum-refining/> (дата обращения 01.09.2016).
7. Расуна Е.Г. et al. Mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe in 2000 and their scenarios until 2020 // *Science of the Total Environment*. – 2006. – № 1. – P. 147–156.
8. Ito S. et al. Emissions of mercury and other trace elements from coal-fired power plants in Japan // *Science of the Total Environment*. – 2006. – № 1. – P. 397–402.
9. Atmospheric mercury emissions in Australia from anthropogenic, natural and recycled sources / P.F. Nelson, A.L. Morrison, H.J. Malfroy, M. Cope, S. Lee, M.L. Hibberd, C.P. (Mick) Meyer, Jh. McGregor // *Atmospheric Environment*. – 2012. – V. 62. – P. 291–302.
10. Справочно-энциклопедическое издание: вредные вещества в окружающей среде. Элементы I–IV групп периодической системы и их неорганические соединения / Л.А. Аликубаева и др. – СПб.: Профессионал, 2005. – 461 с.
11. Дулатова Г.М. Гигиеническая оценка уровней накопления ртути в организме работающих и разработка способа ее выведения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1996. – 24 с.
12. Barregard L. et al. Urinary mercury in people living near point sources of mercury emissions // *Science of the total environment*. – 2006. – № 1. – P. 326–334.
13. Ventura D.F. Impact of mercury vapor toxicity on vision and visual structures: Human and experimental studies // *Neurotoxicology and Teratology*. – 2015. – № 49. – P. 114.
14. Bose-O'Reilly S. et al. A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia // *Environmental research*. – 2016. – V. 149. – P. 274–281.
15. Bose-O'Reilly S. et al. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas // *Environmental research*. – 2008. – № 1. – P. 89–97.
16. Исаев С.А., Султанов Р.Р. Особенности загрязнения тяжелыми металлами вдоль береговых донных отложений к югу от м. Баилово // *Вестник Бакинского государственного университета*. – 2007. – № 4. – С. 153–157.
17. Скворцов В.А., Чуденко К.В. Мониторинг ртути из снежного покрова вблизи предприятий химической промышленности // *Известия Иркутского государственного университета*. – 2010. – № 2. – С. 156–166.
18. Галеева Э.М., Хафизова И.А., Хасанова Э.И. Пространственная структура загрязнения снежного покрова г. Уфы // *Вестник Удмуртского университета*. – 2014. – № 4. – С. 7–11.
19. Ртуть в пылеаэрозолях на территории г. Томска / А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Н.А. Осипова, Е.Г. Языков // *Безопасность в техносфере*. – 2012. – № 2. – С. 30–34.
20. Лушин Э.Н., Крахалева Т.Э., Крахалев А.Ф. Отчет о результатах работ по определению загрязнения ртутью промплощадки производства хлора и каустической соды ПХЗ (заклывательный). Павлодарская гидрогеологическая экспедиция. – Павлодар: НТЦ «Технолог», 1990. – 194 с.
21. Управление ртутным загрязнением и его мониторинг в городе Павлодаре, Республика Казахстан: Отчет по договору № 134 (УС 37/2003н) от 21.08.2003 г. «Разработка Программы мониторинга ртутного загрязнения Северной промзоны г. Павлодара» / Л.В. Яковлева, М.А. Илющенко, Л.В. Кузьменко, Р.И. Камбаров; Алматинский институт энергетики и связи. – Алматы, 2004. – 52 с. URL: <http://hg-pavlodar.narod.ru/ru/bm/biomercury.htm>.

22. Cereceda-Balic F. et al. Impact of Santiago de Chile urban atmospheric pollution on anthropogenic trace elements enrichment in snow precipitation at Cerro Colorado, Central Andes // Atmospheric environment. – 2012. – V. 47. – P. 51–57.
23. Durnford D.A. et al. How relevant is the deposition of mercury onto snowpacks? P. 1: A statistical study on the impact of environmental factors // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2012. – № 19. – P. 9221–9249.
24. Durnford D. et al. How relevant is the deposition of mercury onto snowpacks? P. 2: A modeling study // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2012. – № 19. – P. 9251–9274.
25. Maruszczak N. et al. Total mercury and methylmercury in high altitude surface snow from the French Alps // Science of the Total Environment. – 2011. – № 19. – P. 3949–3954.
26. Ferrari C.P. et al. Snow-to-air exchanges of mercury in an Arctic seasonal snow pack in Ny-Ålesund, Svalbard // Atmospheric Environment. – 2005. – № 39. – P. 7633–7645.
27. РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Наблюдения за загрязнением снежного покрова. – М., 1991. – 695 с.
28. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
29. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
30. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н.С. Касимов, Н.В. Кошелева, Д.В. Власов, Е.В. Терская // Вестник Московского университета. Серия. 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.
31. Янченко Н.И., Яскина О.Л. Особенности химического состава снежного покрова и атмосферных осадков в городе Братске // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 27–35.
32. Прожорина Т.И., Якунина Н.И. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа по состоянию снежного покрова // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 1 (27). – С. 111–114.
33. Sorokina O.I. et al. Heavy metals in the air and snow cover of Ulan Bator // Geography and Natural Resources. – 2013. – № 3. – P. 291–301.
34. Talovskaya A.V. et al. Element composition of insoluble fraction of aerosols in snow in the vicinity of oil chemistry refinery (Pavlodar City, Kazakhstan) and petrochemical plant (Tomsk City, Russia) // 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – Томск, 2015. – V. 9680. – P. 1–6.
35. Таловская, А.В., Язиков Е.Г., Филимонов Е.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снежного покрова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – № 5. – С. 408–417.
36. Geochemical Approach to Human Health Risk Assessment of Inhaled Trace Elements in the Vicinity of Industrial Enterprises in Tomsk, Russia / N.A. Osipova, E.A. Filimonenko, A.V. Talovskaya, E.G. Yazikov // Human and Ecological Risk Assessment. – 2015. – V. 21. – № 6. – P. 1664–1685.
37. ПНД Ф 16.1:2.23–2000 (с изм.) Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С. – СПб., 2005.
38. М 03–05–2005. Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов и донных отложений на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С. – СПб, 2005.
39. Добровольский В.В. География микроэлементов: глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
40. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН, 2009. – 383 с.
41. Wilhelm S.M. Estimate of Mercury Emissions to the Atmosphere from Petroleum // Environmental Science & Technology. – 2001. – № 24. – P. 4704–4710.
42. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. – 2012. – № 1. – С. 71–81.
43. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!»: аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России / П.А. Кирюшин, А.Ю. Книжников, К.В. Кочи, Т.А. Пузанова, С.А. Уваров. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 88 с.
44. Калинин Е.П. Геохимическая специализация нефти и ее природа // Вестник Института геологии Коми Научного центра Уральского отделения РАН. – 2009. – № 1. – С. 6–12.
45. Кажумуханова М.З. Элементы-примеси в угольных месторождениях Казахстана // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Междунар. симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 105–106.
46. Ртуть в снеговом покрове и почвах г. Павлодара Республики Казахстан / М.С. Панин, Г.С. Ажаев, Э.А. Гельдымамедова // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: материалы Междунар. симпозиума. – М.: ГЕО-ХИ РАН, 2010. – С. 194–199.

Поступила 02.09.2016 г.

Информация об авторах

Шахова Т.С., аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Таловская А.В., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Язиков Е.Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Филимонов Е.А., кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Ляпина Е.Е., кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории физики климатических систем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

UDC 504.4:546.49:665.65.013 (574.25) (551.578.46)

ASSESSMENT OF MERCURY POLLUTION IN THE VICINITY OF PETROCHEMICAL COMPLEX IN WINTER (BY THE EXAMPLE OF PAVLODAR, KAZAKHSTAN)

Tatyana S. Shakhova¹,
tatyana29@yandex.ru

Anna V. Talovskaya¹,
talovskaj@yandex.ru

Egor G. Yazikov¹,
yazikoveg@tpu.ru

Ekaterina A. Filimonenko¹,
filimonenkoea@mail.ru

Elena E. Lyapina²,
eeldv@mail.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
10/3, Akademicheskoy Avenue, Tomsk, 634055, Russia.

The relevance of the research. Hg has gained worldwide attention due to its high toxicity and bio-accumulation. The atmospheric emission of Hg mainly comes from coal combustion and oil products. The level of mercury pollution due to release of solid emissions in the areas of refineries and petrochemical complexes is currently poorly studied, however, these facilities are one of the potential sources of this toxic element. This causes the importance of the research.

The main aim of the study is to assess mercury pollution in the vicinity of the petrochemical complex in winter (by the example of Pavlodar, Kazakhstan), according to the study of snow cover as a storage of solid particles.

The methods used in the study: selection snow samples, melting the samples at room temperature, filtering using the ashless «blue tape» type filter, drying and weighing of samples, atomic absorption method using mercury analyzer RA-915+ and prefix PYRO-915 to determine mercury content in the samples, the program «STATISTICA 8» was applied to process the data analysis, calculation of eco-geochemical parameters: concentration ratio, daily average deposition of mercury, ratio of relative increase of mercury total load, ratio of mercury aerosol accumulation.

The results. The mercury content in snow solid residue in the vicinity of the studied enterprises varies widely, and exceeds the background from 1.5 to 7 times. The value of daily average mercury deposition on snow cover ranges from 4.99 to 221.98; the character of mercury distribution in solid residue samples of snow from the vicinity of the Pavlodar petrochemical plant was determined. The maximum rate was identified in the sample at a distance of 1.5 km in the north-eastern area. It is 48 times above background. High mercury content in solid residue samples of snow can be related to gas flaring at the enterprises of refinery complex. Mercury transfer from the emissions of coal thermal power station, located at a distance of 500 m from the petrochemical plant, is not excluded as well. Hg⁰ mercury, adsorbed on the surface of the particles coming from gas combustion, may be the form of mercury emission from the petrochemical and refinery plants.

Key words:

Mercury, petrochemical plant, petroleum refinery, snow cover, enrichment factors, air pollution sources.

REFERENCES

1. Yanin E.P. *Rtut v okruzhayushchey srede promyshlennogo goroda* [Mercury in the environment of the industrial city]. Moscow, IMGRE Publ., 1992. 169 p.
2. Shunlin T., Xinbin F., Jianrong Q., Guoxun Y., Zaichan Y. Mercury speciation and emissions from coal combustion in Guiyang, southwest China. *Journal of Environmental Research*, 2007, no. 105, pp. 175–182.
3. Gratz L.E., Keeler G.J. Sources of mercury in precipitation to Underhill, VT. *Atmospheric Environment*, 2011, vol. 105, no. 31, pp. 5440–5449.
4. Yagolnitsker M.A., Sokolov V.M., Ryabtsev A.D. Otsenka promyshlennoy emissii rtuti v Sibiri [Assessment of mercury industrial emissions in Siberia]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1995, no. 3. pp. 23–35.
5. Tang S. Actual mercury speciation and mercury discharges from coal-fired power plants in Inner Mongolia, Northern China. *Fuel*, 2016, no. 1, pp. 194–204.
6. IPIECA (2014). *Mercury management in petroleum refining. IPIECA fact sheet*, 2014. Available at: <http://www.ipieca.org/resources/good-practice/mercury-management-in-petroleum-refining/> (accessed 1 September 2016).
7. Pacyna E.G. Mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe in 2000 and their scenarios until 2020. *Science of the Total Environment*, 2006, no. 1, pp. 147–156.
8. Ito S. Emissions of mercury and other trace elements from coal-fired power plants in Japan. *Science of the Total Environment*, 2006, no. 1, pp. 397–402.
9. Nelson P.F., Morrison A.L., Malfroy H.J., Cope M., Lee S., Hibberd M.L., Meyer C.P. (Mick), McGregor Jh. Atmospheric mercury emissions in Australia from anthropogenic, natural and recy-

- cled sources. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 62, pp. 291–302.
10. *Spravochno-enziklopedicheskoe izdanie: vrednye veshchestva v okruzhayushchey srede. Elementy I-IV grupp periodicheskoy sistemy i ikh neorganicheskie soedineniya*, pod red. V. A. Filova [i dr.] [Reference encyclopaedic edition: noxious substances in the environment. Elements of Groups I-IV of the periodic system and their inorganic compounds]. St. Petersburg, Professional Publ., 2005. 461 p.
 11. Dulatova G.M. *Gigienicheskaya otsenka urovney nakopleniya rtuti v organizme rabotayushchikh i razrabotka sposoba ee vyvedeniya*. Avtoreferat Dis. kand. nauk [Hygienic assessment of the levels of mercury accumulation in the body of workers and development of the method for its removal. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 1996. 24 p.
 12. Barregard L. Urinary mercury in people living near point sources of mercury emissions. *Science of the total environment*, 2006, no. 1, pp. 326–334.
 13. Ventura D.F. Impact of mercury vapor toxicity on vision and visual structures: Human and experimental studies. *Neurotoxicology and Teratology*, 2015, no. 49, pp. 114.
 14. Bose-O'Reilly S. A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environmental research*, 2016, vol. 149, pp. 274–281.
 15. Bose-O'Reilly S. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas. *Environmental research*, 2008, no. 1, pp. 89–97.
 16. Isayev S.A., Sultanov R.R. Features of heavy metal pollution along the coastal sediments south to the m. Bail. *Vestnik Bakinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007, no. 4, pp. 153–157. In Rus.
 17. Skvortsov V.A., Chudenko K.V. Mercury monitoring in snow cover near the chemical industry. *Bulletin of Irkutsk State University*, 2010, vol. 3, no 2, pp. 156–166. In Rus.
 18. Galeyeva E.M., Khafizova I.A., Khasanova E.I. Spatial structure of snow cover pollution in Ufa. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 7–11. In Rus.
 19. Talovskaya A.V., Filimonenko E.A., Osipova N.A., Yazikov E.G. Mercury in the dust aerosols in the territory of Tomsk. *Safety in Technosphere*, 2012, no 2, pp. 30–34. In Rus.
 20. Lushin E.N., Krakhaleva T.E., Krakhalev A.F. *Otchet o rezultakh rabot po opredeleniyu zagryazneniya rtutyu promyshlennyykh proizvodstv khlora i kausticheskoy sody PKHZ (zaklyuchitelnyy)* [Report on the results of work on defining mercury contamination of industrial sites of chlorine and caustic soda PCP (final production)]. Pavlodar, Tekhnolog Publ., 1990. 194 p.
 21. Yakovleva L.V., Ilyushchenko M.A., Kuzmenko L.V., Kambelev R.I. Upravleniye rtutnym zagryazneniyem i ego monitoring v gorode Pavlodare, Respublika Kazakhstan [Mercury pollution management and monitoring in Pavlodar, Kazakhstan]. *Otchet po dogovoru № 134 (US 37/2003n) ot 21.08.2003 g. «Razrabotka Programmy monitoringa rtutnogo zagryazneniya Severnoy promzony g. Pavlodara»* [Report on Contract no. 134 (FF 37/2003n) from 21.08.2003, the «Development of the Program for Monitoring Mercury Pollution in Northern industrial area, Pavlodar»]. Almaty, 2004. 52 p. Available at: <http://hg-pavlodar.narod.ru/ru/bm/biomercury.htm> (accessed 28 August 2016).
 22. Cereceda-Balic F. Impact of Santiago de Chile urban atmospheric pollution on anthropogenic trace elements enrichment in snow precipitation at Cerro Colorado, Central Andes. *Atmospheric environment*, 2012, vol. 47, pp. 51–57.
 23. Durnford D.A. How relevant is the deposition of mercury onto snowpacks? P. 1: A statistical study on the impact of environmental factors. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, no. 19, pp. 9221–9249.
 24. Durnford D. How relevant is the deposition of mercury onto snowpacks? P. 2: A modeling study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, no. 19, pp. 9251–9274.
 25. Maruszczak N. Total mercury and methylmercury in high altitude surface snow from the French Alps. *Science of the Total Environment*, 2011, no. 19, pp. 3949–3954.
 26. Ferrari C.P. Snow-to-air exchanges of mercury in an Arctic seasonal snow pack in Ny-Ålesund, Svalbard. *Atmospheric Environment*, 2005, no. 39, pp. 7633–7645.
 27. RD 52.04.186–89. *Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery. Nablyudeniya za zagryazneniyem snezhnogo pokrova* [Guidance on control of air pollution. Observations of snow cover pollution]. Moscow, 1991. 695 p.
 28. Saet Y.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p.
 29. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya territoriy gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for evaluation of geochemical pollution of the cities with chemical elements]. Moscow, IMGRE Publ., 1982. 111 p.
 30. Kasimov N.S., Kosheleva N.V., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geochemistry of snow cover in the Eastern District of Moscow. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya Geografiya*, 2012, no. 4, pp. 14–24. In Rus.
 31. Yanchenko N.I., Yaskina O.L. Features of chemical composition of snow cover and precipitation in Bratsk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 3, pp. 27–35. In Rus.
 32. Prozhorina T.I., Yakunina N.I. Assessment of air pollution in Voronezh based on snow cover. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2014, no. 1 (27), pp. 111–114. In Rus.
 33. Sorokina O.I. Heavy metals in the air and snow cover of Ulan-Bator. *Geography and Natural Resources*, 2013, no. 3, pp. 291–301.
 34. Talovskaya A.V. Element composition of insoluble fraction of aerosols in snow in the vicinity of oil chemistry refinery (Pavlodar City, Kazakhstan) and petrochemical plant (Tomsk City, Russia). *21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. Tomsk, 2015. Vol. 9680, pp. 1–6.
 35. Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Filimonenko E.A. Assessment of air pollution in urban areas of Tomsk region according to the study of snow cover. *Geokhimiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2014, no. 5, pp. 408–417. In Rus.
 36. Osipova N.A., Filimonenko E.A., Talovskaya A.V., Yazikov E.G. Geochemical Approach to Human Health Risk Assessment of Inhaled Trace Elements in the Vicinity of Industrial Enterprises in Tomsk, Russia. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2015, vol. 21, no. 6, pp. 1664–1685.
 37. PND F 16.1:2.23–2000 (s izm.). *Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli obshchey rtuti v probakh pochv i gruntov na analizatore rtuti RA-915+ s pristavkoy RP-91S* [Methods of measurement of total mercury mass fraction in soil samples and soil with mercury analyzer RA-915 + with the prefix RP-91c]. St-Petersburg, 2005.
 38. M 03–05–2005. *Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli obshchey rtuti v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniy na analizatore rtuti RA-915+ s pristavkoy RP-91S* [Methods of measurement of total mercury mass fraction in soil samples, soil and sediment on mercury analyzer RA-915 + with the prefix RP-91c]. St-Petersburg, 2005.
 39. Dobrovolskiy V.V. *Geografiya mikroelementov: globalnoye rasseyaniye* [Geography of trace elements: global dissipation]. Moscow, Mysl Publ., 1983. 272 p.
 40. Grigoryev N.A. *Raspredeleniye khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory* [Distribution of chemical elements in the upper continental crust]. Yekaterinburg, Institut geologii i geokhimii Uralskogo otdeleniya RAN, 2009. 383 p.

41. Wilhelm S.M. Estimate of Mercury Emissions to the Atmosphere from Petroleum. *Environmental Science & Technology*, 2001, no. 24, pp. 4704–4710.
42. Moskovchenko D.V., Babushkin A.G. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava snegovykh vod na territorii Khanty-Mansiyskogo Avtonomnogo Okruga [Features of formation of snow water chemical composition in Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. *Kriosfera Zemli*, 2012, no. 1, pp. 71–81. In Rus.
43. Kiryushin P.A., Knizhnikov A.Yu., Kochi K.V., Puzanova T.A., Uvarov S.A. Poputny neftyanoy gaz v Rossii: «Szhigat nelzya, pererabatyvat!» [Associated petroleum gas in Russia: « Burning is not allowed, recycle! »]. *Analiticheskiy doklad ob ekonomicheskikh i ekologicheskikh izderzhkakh szhiganiya poputnogo neftyanogo gaza v Rossii* [Analytical report on economic and ecological costs]. Moscow, WWF Publ., 2013. 88 p.
44. Kalinin E.P. Geokhimicheskaya spetsializatsiya nefti i ee priroda [Geochemical specialization of oil and its nature]. *Vestnik instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN*, 2009, no. 1, pp. 6–12.
45. Kazhumukhanova M.Z. Elementy-primesi v ugolnykh mestorozhdeniyakh Kazakhstana [Trace elements in coal deposits of Kazakhstan]. *Trudy XIXth Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni ak. M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh: Problemy geologii i osvoeniya nedr* [Proc. XIXth ac. M.A. Usov Intern. Symp. for students and young scientists: Problems of Geology and Mineral Resources Development]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2015. Pp. 105–106.
46. Panin M.S., Azhaev G.S., Geldymamedova E.A. Rtut v snegovom pokrove i pochvakh g. Pavlodara Respubliki Kazakhstan [Mercury in snow cover and soils in Pavlodar, Republic of Kazakhstan]. *Materialy Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Rtut v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty* [Proc. Intern. Symp. Mercury in biosphere: ecological-geochemical aspects]. Moscow, 2010. pp. 194–199.

Received: 2 September 2016.

Information about the authors

Tatyana S. Shakhova, postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Anna V. Talovskaya, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Egor G. Yazikov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Ekaterina A. Filimonenko, Cand. Sc., assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.

Elena E. Lyapina, Cand. Sc., researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.