

---

---

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

---

---

УДК 550.462

**ВЫСОКОТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ  
НА ТЕРРИТОРИИ г. БЛАГОВЕЩЕНСКА**

© 2015 г. Л. М. Павлова\*, В. И. Радомская\*, Д. В. Юсупов\*\*

\* *Институт геологии и природопользования ДВО РАН,  
пер. Рёлочный, д.1, Благовещенск, 675000 Россия. E-mail: pav@ascnet.ru*

\*\* *Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
пр-т Ленина, д. 30, Томск, 634050 Россия. E-mail: yusupovd@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.03.2014 г.

Снеговое опробование урбанизированной территории на примере Дальневосточного г. Благовещенска со слабо развитой промышленностью позволило оценить не только качество воздушной среды на современном этапе, но и количественно-качественный состав будущих мигрантов – нерастворимых соединений высокотоксичных элементов (As, Se, Sb, Te, Tl, Bi, Th, U), поступающих в подстилающие почвы с атмосферной пылью.

**Ключевые слова:** *снеговое опробование, урбанизированная территория, высокотоксичные элементы, радионуклиды, загрязнение атмосферы.*

### ВВЕДЕНИЕ

Изменения геохимических свойств окружающей среды, связанные не с естественными природными процессами, а с деятельностью человека, считаются загрязнением [21]. В результате техногенного вмешательства меняется направленность и интенсивность естественных геохимических процессов, приближая последствия этих процессов подчас к катастрофическому уровню. Транзит и рассеивание значительных объемов далеко не безвредных отходов различных промышленных производств и выбросов автотранспорта идет через атмосферу. Поэтому одним из путей миграции элементов и соответственно загрязнения окружающей среды считаются пылевые выпадения из атмосферы, которые под действием сил гравитации и с выпадающими атмосферными осадками поступают в депонирующие среды (почву, снег) и миграционные потоки (воды). В почвах, донных отложениях происходят фиксация и накопление различных поллютантов, которые впоследствии отмечаются в растительном покрове, живых организмах. Поэтому вопрос качества атмосферного воздуха весьма актуален не только для России, но и для стран всего мира. И если в России очистка воздушных выбросов от стационарных источников достигла заметных успехов в последние два десятка лет, то в азиатских промышленных странах

(Китай, Казахстан) аэральные выбросы по-прежнему остаются значительными [4, 13]. Согласно литературным данным [24], причина ежегодной смерти более двух миллионов человек во всём мире – загрязненный атмосферный воздух. Таким образом, атмосфера – это наиболее динамичная составляющая окружающей среды, чистота которой обеспечивает здоровье населения.

Для изучения природы аэрогенных выпадений из атмосферы снежный покров – почти идеальная депонирующая среда, особенно в районах с длительным его экспонированием; он обладает рядом свойств, делающих его информативным и удобным индикатором загрязнения воздуха, вод, почв. Результаты снегового опробования достаточно представительны, поскольку исключают вариации (направление ветра, непостоянство выбросов) и дают величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени – с момента снегостава до момента пробоотбора [3], а также позволяют моделировать дальнейшую трансформацию поступающих элементов с экстраполяцией потенциального негативного воздействия на население [19]. Среди элементов, изучаемых в снеговом покрове урбанизированных территорий, нет достаточно полной картины об источниках, механизмах и путях распространения элементов из группы высокотоксичных, к которой по экогеохимическим

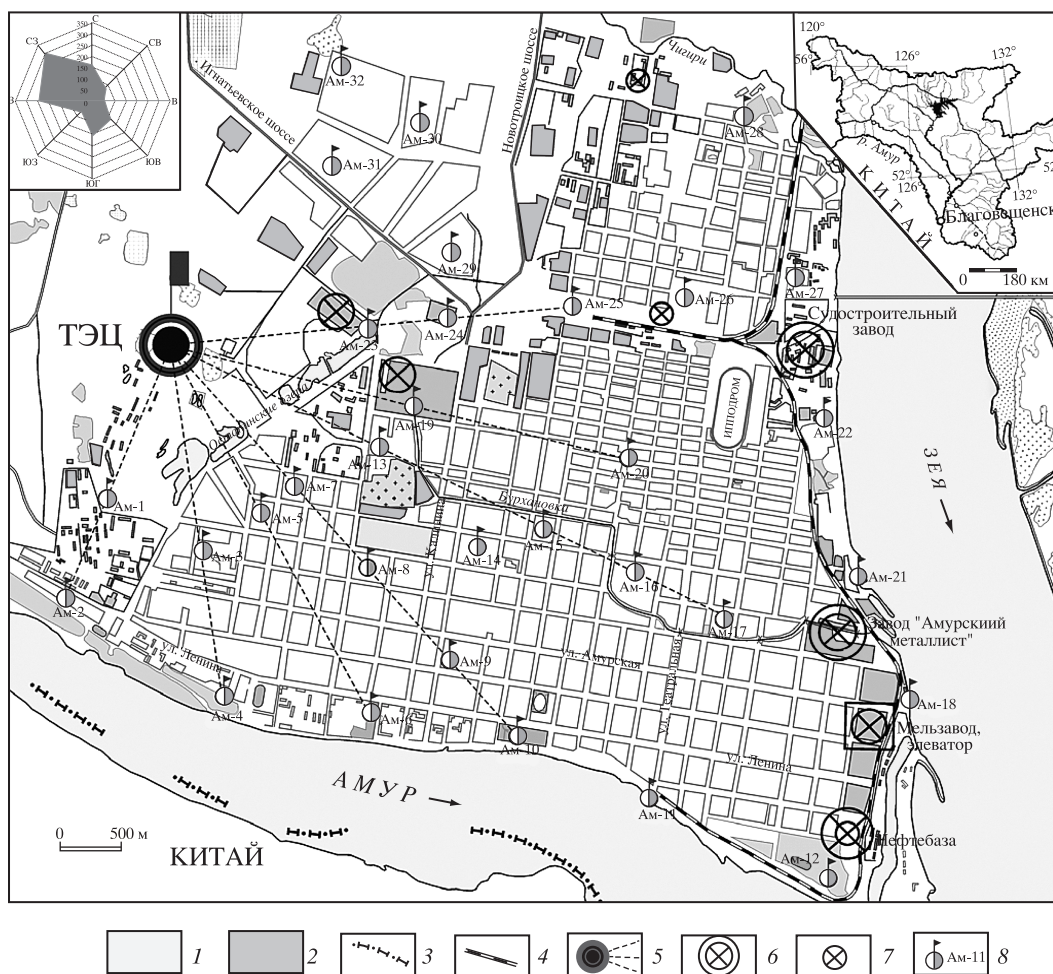
особенностям отнесены Tl, Pb, Se, Te, As, Sb, Bi, Rn и радионуклиды [12].

Дальневосточные города, в большей мере считающиеся малопромышленными из-за незначительного количества предприятий, их малой мощности, тем не менее зачастую позиционируются в первой десятке самых загрязненных городов по разным показателям [7, 8]. Кроме того, природные экосистемы Дальневосточного региона испытывают интенсивный антропогенный прессинг, обусловленный высокой пирогенной составляющей, а также трансграничным переносом поллютантов с территории соседнего Китая [13]. Поэтому целью выполненных исследований было изучение высокотоксичных элементов тория и урана в снежном покрове на территории г. Благовещенска. Благовещенск – дальневосточный город со слабо развитой промышленностью площадью 57,8 км<sup>2</sup>, компактно расположенный

в междуречье крупных рек – Амура и Зеи на юго-западной окраине Нижне-Зейской равнины. Он граничит через р. Амур с китайским г. Хэйхэ с населением около 170 тыс. человек.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для снегового опробования на территории г. Благовещенска в 2012 г. было отобрано 35 проб перед началом снеготаяния. Точки отбора закладывали по радиальной сетке от ТЭЦ (теплоэлектроцентрали) с шагом 500–1000 м, охватывая всю территорию города (рис. 1) и располагая их не только на различном расстоянии от ТЭЦ (т.т. Ам-1 – Ам-10, Ам-13 – Ам-15, Ам-19, Ам-23, Ам-24, Ам-29 – Ам-32), которая была выбрана в качестве основного репера, но и в различных направлениях с учетом влияния автодорог (т.т. Ам-10, Ам-17, Ам-24, Ам-28 – Ам-32)



**Рис. 1.** Карта-схема г. Благовещенска (Амурская область) с точками отбора проб снега: 1 – селитебная территория; 2 – территория промышленных предприятий; 3 – государственная граница России с Китаем; 4 – железная дорога; 5 – ТЭЦ и подфакельные направления выбросов; 6 – объекты промышленного назначения; 7 – котельные; 8 – места отбора снеговых проб и их номера. Врезка – роза ветров в осенне-зимний период.

и железнодорожных магистралей (т.т. Ам-11, Ам-25 – Ам-27), выбросов мясоперерабатывающего комбината (т. Ам-28), элеватора (мельзавод) (т. Ам-18), опытно-промышленного завода ЗАО “УК Петропавловск” по переработке руды (т. Ам-23), судостроительного завода (т. Ам-22), завода “Амурский металлург” (т. Ам-21), ООО “Амурский хлеб” (т. Ам-11), нефтебазы (т. Ам-12). Также были заложены точки отбора проб снега в селитебных районах с печным отоплением (т.т. Ам-16, Ам-17, Ам-20, Ам-28). Фоновая выборка была на участке с предполагаемой низкой техногенной нагрузкой в 35 км северо-восточнее города по Новотроицкому шоссе.

Отбор снега проводили методом шурфа на всю глубину снежного покрова, за исключением 2-сантиметрового слоя над поверхностью почвы [10]. Пробу снега весом до 10 кг собирали в новые полиэтиленовые пакеты, переводили в талую воду при комнатной температуре в полиэтиленовых емкостях. После растапливания талую воду фильтровали через бумажные фильтры “синяя лента” с диаметром пор 1 мкм, фиксировали объемы исходной и профильтрованной снеговой воды, сушили фильтр с взвесью при 105°C, взвешивали. Методами ИСП-МС (Аналитический сертифицированный испытательный центр Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка) исследовали твердую и жидкую фазы снеговых проб.

На основе количества взвеси в каждой пробе снега рассчитывали среднесуточную пылевую нагрузку на территории города, а также нагрузку, создаваемую каждым из исследуемых элементов [18]. Показатель среднесуточной пылевой нагрузки ( $P_n$ ) отражает приток пыли в мг (или кг) на поверхность городской территории площадью 1 м<sup>2</sup> (или км<sup>2</sup>) за период в 1 сут. Расчет нагрузки, создаваемой поступлением элемента в окружающую среду с пылью ( $P_{тв}$ ), и коэффициенты относительного увеличения общей нагрузки элемента относительно фона ( $K_p$ ) рассчитывали по следующим формулам:

$$P_{тв} = C \times P_n,$$

где  $C$  – концентрация элемента в снеговой пыли (мг · кг<sup>-1</sup>);  $P_n$  – среднесуточная пылевая нагрузка (кг · км<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup>);

$$K_p = P_{тв} / P_{ф} \text{ при } P_{ф} = C_{ф} \times P_{пф},$$

где  $P_{ф}$  – фоновая нагрузка исследуемого элемента;  $C_{ф}$  – фоновое содержание исследуемого элемента, (мг · кг<sup>-1</sup>);  $P_{пф}$  – фоновая пылевая нагрузка (кг · км<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup>).

Для определения уровня загрязнения снегового покрова рассчитали коэффициенты концентрации элементов ( $K_c$ ), их медиану, а также суммарные показатели загрязнения снегового покрова  $Z_c = \sum K_c - (n-1)$  и, согласно [21], суммарную нагрузку группой исследуемых элементов с пылью  $Z_p = \sum K_p - (n-1)$ .

Рассчитывали коэффициенты фазового распределения ( $K_{фрн}$  – соотношение нерастворимой и растворимой форм соединений элемента) среднесуточной нагрузки для каждого исследуемого элемента на окружающую среду [17], градиция которого подразделяется:

$P_{тв} / P_{раст} > 10$  – очень высокое преобладание взвешенной формы элемента;

$P_{тв} / P_{раст} = 5-10$  – высокое преобладание взвешенной формы;

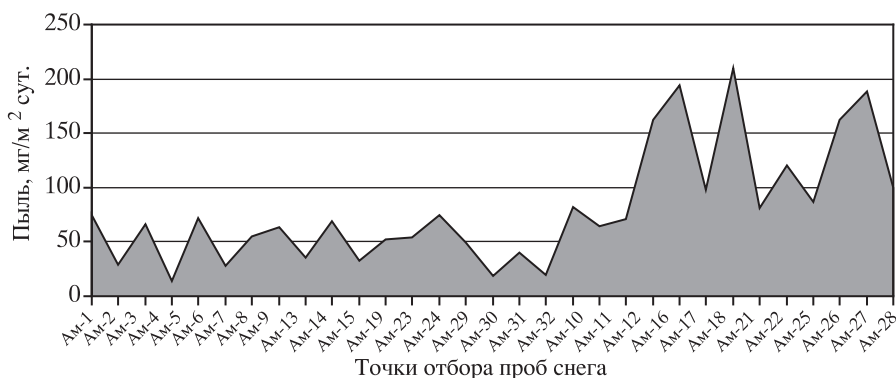
$P_{тв} / P_{раст} = 2-5$  – умеренное преобладание взвешенной формы;

$P_{тв} / P_{раст} \approx 1$  – примерное равенство взвешенной и растворенной форм;

$P_{тв} / P_{раст} < 0.5$  – преобладание растворенной формы элемента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Аэротехногенные ореолы рассеяния поллютантов на урбанизированных территориях обусловлены наложением выбросов промышленных и топливно-энергетических предприятий, автотранспорта. Локализация топливно-промышленных объектов на территории Благовещенска носит вкрапленно-зональный характер. Основные источники аэрогенных выбросов – теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), расположенная несколько обособленно на северо-западной окраине города. Малые топливосжигающие установки отдельных промышленных предприятий (заводы “Амурский металлург”, судостроительный, мельзавод, мясоперерабатывающий комбинат и др. – всего 37 котельных) и частного жилого сектора находятся преимущественно в центральной части города и на восточной окраине по правобережью р. Зея. Основной вид используемого топлива – бурый уголь. Автотранспорт, количество единиц которого в Благовещенске на 2011 г. оценивалось в 68295 шт., тоже вносит свою лепту в загрязнение воздушной среды города. Только Благовещенская ТЭЦ, работающая на буром угле, выбрасывает в атмосферу города и сопредельных территорий до 32–33 тыс. т загрязняющих веществ в год [8, 11], а суммарный вклад всех выбросов в атмосферу города оценивается в 41.9 тыс. т [9]. Нет данных о



**Рис. 2.** Диаграмма пылевой нагрузки по анализу снегового покрова на территории Благовещенска. Точки отбора проб ранжированы по источникам выбросов: преимущественное влияние выбросов ТЭЦ – точки Ам-1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 19, 23, 24, 29, 31, 32; суммарное влияние выбросов печей частного домовладения, котельных промышленных предприятий (судостроительный завод, “Амурский металлист”, мельзавод и др.) – точки Ам-10, 11, 12, 16, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 28.

количестве и качестве выбросов опытно-промышленного завода ЗАО “УК Петропавловск”, который расположен в северо-западной промышленной зоне и предназначен для полупромышленных испытаний технологий переработки золотосодержащих, титано-магнетитовых и железосодержащих руд из месторождений Амурской области.

На состоянии атмосферного воздуха на урбанизированных территориях сказывается не только антропогенез, но и совокупность климатических и геоморфологических факторов, в первую очередь господствующее направление воздушных масс. По данным [1, 14] в Благовещенске, особенно в осенне-зимний период, преобладает северо-западное направление воздушных потоков (30–54%), несколько меньше северных и южных ветров (18 и 13% соответственно), реже дует восточный ветер – 4% и только 60–80 дней в году стоит безветренная погода (преимущественно декабрь-январь и апрель-май). В отопительный период, когда в городе преобладают северо-западные холодные ветры, ореолы выбросов от ТЭЦ, печных труб в центральной селитебно-рекреационной части города растягиваются преимущественно в юго-восточном направлении. На восточную часть города в это время могут оказывать влияние дымы с полигона твердых бытовых отходов, находящегося в 5 км северо-восточнее города, котельные мясоперерабатывающего комбината, судостроительного завода, завода “Амурский металлист”, мельзавода, предприятий железнодорожного транспорта. Более ранними исследованиями воздушной среды г. Благовещенска по состоянию снежного покрова [16] выявлены локальные пятна цинк-медь-кадмиевого загрязнения низкого уровня, формирующиеся в подфакельной зоне выбросов ТЭЦ и в месте слияния Амура и Зеи,

а также установлено поступление в атмосферу города суммарных полиароматических углеводородов (ПАУ) и бенз(а)пирена, особенно в районе с интенсивным движением транспорта [15]. Весной приходящие с юго-запада циклоны периодически приносят желтую пыль, поднятую ветром с поверхности монгольских степей, летом с юга и юго-востока – с сопредельной территории китайской провинции Хэйлуцзян, интенсивно развивающей свою промышленность, т.е. возможен трансграничный перенос поллютантов техногенного характера. Таким образом, на небольшой территории Благовещенска может происходить пространственное наложение “сфер влияния” выбросов местных промышленных предприятий и предприятий сопредельных стран, природных источников, но детального представления о характере воздушной “грязи” и распределении ее по территории города не имеется.

**Пылевая нагрузка.** Обследование снегового покрова показало, что за зимний период пылевая нагрузка на всей территории Благовещенска (рис. 2) составила от 14 до 210 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup> (медиана 66,0 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup>), что соответствует низкому уровню пылевой нагрузки на воздушную среду города. Суточная пылевая нагрузка на фоновой точке и вовсе незначительная – меньше 1 мг · м<sup>-2</sup>, тогда как для континентальных территорий фоновой считается пылевая нагрузка в 10–20 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup> [21].

Ореолы с более высокими значениями твердофазных выпадений 100–210 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup> простираются в восточной части города вдоль правобережья Зеи (т.т. Ам-28, Ам-27, Ам-22, Ам-21, Ам-18, Ам-12) – в зоне влияния промышленных предприятий, а также в зоне выбросов печного

**Таблица 1.** Содержание высокотоксичных элементов в осадке снега г. Благовещенска

№№ проб	Кол-во угля, %	Содержание, г/т							
		As	Se	Sb	Te	Tl	Bi	Th	U
Ам-28	75	14.1	4.0	3.7	0.145	1.7	0.56	19.7	4.6
Ам-1	62	10.1	3.8	2.9	< 0.08	1.3	0.43	18.4	4.2
Ам-11	12	11.0	1.3	2.5	<0.08	0.8	0.41	10.0	2.7
Ам-16	5	5.7	0.9	3.3	< 0.08	0.6	0.28	8.6	1.8
кларк*		7.4	1.1	0.82	–	0.68	0.92	3.8	2.7

\* – Кларк элементов для бурых углей (г/т) по [22]; “–” – нет данных.

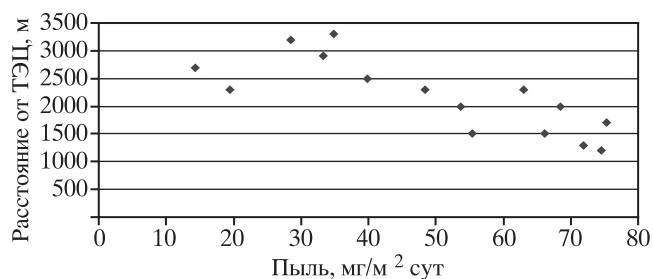
отопления, авто- и железнодорожного транспорта (т.т. Ам-16, Ам-17, Ам-26, Ам-25). Для центральной части города в подфакельной зоне ТЭЦ (т.т. Ам-1 – Ам-32) пылевая нагрузка значительно меньше и составила 20–80 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup> (см. рис. 2).

Минералогическими исследованиями [23] подтверждено, что основную часть до 62–75% взвеси снеговых проб из зоны выбросов топливных установок (т.т. Ам-1, Ам-28) составляют частицы угля (табл. 1), минералы кварца, полевые шпаты. В пробах снега вне зоны прямого влияния выбросов ТЭЦ и котельных (т.т. Ам-11, Ам-16) количество угольных частиц значительно меньше. Существенное увеличение ряда токсичных элементов в пробах, обогащенных угольной пылью, относительно их кларков для бурых углей свидетельствует, что основной источник поллютантов – минеральная составляющая выбросов при сжигании органического топлива (бурого угля).

Отрицательный коэффициент корреляции (r = – 0.70) между степенью пылевой нагрузки и удаленностью точек отбора от ТЭЦ в юго-восточном направлении (т.т. Ам-1 – Ам-9, Ам-13 – Ам-15, Ам-19, Ам-23, Ам-24) подтверждает наличие ореола подфакельных выбросов ТЭЦ (рис. 3). В конце 1990-х годов загрязненность городского воздуха в Благовещенске из-за выбросов ТЭЦ была очень высокой [14]. На снимках, сделанных из космоса, на белом снежном фоне Благовещенск смотрелся черным пятном, диаметром 25–30 км<sup>2</sup>, растянувшимся на юго-восток еще на 30–35 км. Количественные данные о пылевой нагрузке на тот период [20] свидетельствуют о значительной пылевой нагрузке в черте города и на 3–4 км удалении от него – от 700 до 2800 мг · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup>. Таким образом, за двадцатилетний период (с 1991 по 2012 г.) зафиксировано значительное снижение твердофазных выбросов в атмосферу Благовещенска, в основном за счет модернизации систем очистки выбросов ТЭЦ.

**Элементная нагрузка.** Геохимическое и экологическое значение химических элементов многоплановое. Жизненно необходимые в небольших количествах, но токсичные в общеэкологическом значении элементы Cu, Zn, Mn и др. достаточно хорошо изучены с позиций геоэкологии. Не так много сведений об экогеохимических особенностях редких высокотоксичных элементов и радионуклидов. По экогеохимической классификации [12] группу высокотоксичных элементов (Tl, Pb, Se, Te, As, Sb, Bi, Rn) и радионуклидов отличают две особенности – р-электронное строение и редкая распространенность в земной коре. Большинство р-элементов проявляют амфотерные свойства (за исключением талия и висмута) и образуют как катионы, так и анионы, которые сильно гидролизуются. Практически все р-элементы участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, что обуславливает их токсическое действие на живые организмы. Особенно опасны аэрозоли высокотоксичных элементов, попадающие внутрь живых организмов из воздуха.

Для исследования в снеговом покрове урбанизированной территории выбраны высокотоксичные элементы Tl, Se, Te, As, Sb, Bi и радионуклиды Th, U, которые обычно присутствуют как примеси в рудных телах, в ископаемом топливе (угле) и характеризуются высокой химической активностью и слабой экогеохимической изученностью.



**Рис. 3.** Зависимость количества пыли в снеговом покрове на разном расстоянии от ТЭЦ.

**Таблица 2.** Элементная нагрузка в снеговых пробах ( $P_{тв}$ ) и коэффициенты – относительного увеличения общей нагрузки элемента относительно фона ( $K_p$ ) и фазового распределения нагрузки ( $K_{фрн}$ ) элемента

Элемент	Твердая фаза снега					Жидкая фаза снега				$K_{фрн}$
	$C^*$ , мкг/г		$P_{тв}$ мг/км <sup>2</sup> ·сут	$P_{ф}$	$K_p$	$C^*$ , нг/л		ПДК**, нг/л	$P_{раств}$ мг/км <sup>2</sup> ·сут	
	город	фон				город	фон			
As	11.3	2.4	745.8	2.32	321	1800	240	10000	54	13.8
Se	3.1	<0.5	204.6	0.25	818	1800	150	10000	54	3.8
Sb	4.5	0.76	50.16	0.71	71	736	26.5	50000	22.08	2.3
Te	0.13	<0.08	8.58	0.04	214	<3	<3	10000	0.045	190.7
Tl	1.1	0.2	72.6	0.19	382	52.5	13.8	100	1.575	46.1
Bi	0.72	0.23	47.52	0.21	226	4.0	3.8	100000	0.12	396
Th	15.9	2.3	1056	2.14	493	3.9	7.7	100000 <sup>2</sup>	0.117	9025.6
U	4.0	0.6	264	0.56	471	117.8	13.4	15000 <sup>3</sup>	3.534	74.7

Примечание.  $C^*$  – концентрация по медиане; <sup>1</sup> – по [5]; <sup>2</sup> – неутвержденные значения ПДК по [2]; <sup>3</sup> – по [6].

**Таблица 3.** Коэффициенты концентрации высокотоксичных элементов и радионуклидов и суммарный показатель загрязнения в снеговом покрове на территории г. Благовещенска

Элемент	Коэффициенты концентрации ( $K_c$ )					
	твердая фаза снега			жидкая фаза снега		
	min	max	Me	min	max	Me
As	2.4	13.5	4.7	0.1	20.0	6.9
Sb	2.5	10.5	5.9	8.0	106.2	27.6
Se	3.0	20.3	10.3	1.0	54.0	11.7
Te	1.0	4.8	1.0	1.0	1.0	1.0
Tl	3.0	8.5	5.5	1.0	8.4	3.8
Bi	1.2	9.4	3.1	0.3	4.3	1.1
Th	3.7	10.6	7.0	0.1	3.2	0.5
U	3.0	10.3	6.6	1.0	75.1	8.7
<b>Zc</b>	<b>14.7</b>	<b>59.5</b>	<b>37.1</b>	<b>8.1</b>	<b>211.6</b>	<b>54.3</b>

Примечание. Me – медиана.

Суммарное количество металлов в снеговых пробах складывается из растворимых и нерастворимых их соединений. Геохимическое поведение этих форм соединений в экосистеме различно. Первые, наиболее геохимически активные, могут включаться в водную и биогеохимическую миграцию, для нерастворимых форм более естественно их депонирование в почве. Нагрузку нерастворимыми соединениями высокотоксичных элементов и радионуклидов на территорию города относительно фона оценивали, исходя из количества твердой фракции и концентрации каждого элемента в ней. Нагрузку растворимых форм элементов рассчитывали с учетом объема снеготалой воды, полученной из снега с 1 м<sup>2</sup>, и концентрации элемента в растворимой форме (табл. 2).

В целом нагрузка нерастворимыми формами элементов на урбанизированной территории пре-

вышает фоновую на 2–3 порядка. Максимальные коэффициенты превышения элементной нагрузки на урбанизированной территории по сравнению с фоновой выявлены для Se (818), значительные – для Th (493), U (471), Tl (392), As (321) и Bi (226), Te (214), Sb (71).

О преобладании количества той или иной формы соединений элемента в атмосферном воздухе и соответственно потенциальной или активной его опасности, говорит показатель их соотношения ( $K_{фрн}$ ). Выбросы в атмосферу при работе промышленных предприятий, топливных установок, ТЭЦ, автотранспорта происходят десятилетиями, соответственно и накопление элементов в почве происходит длительно, поэтому даже после прекращения выбросов в атмосферный воздух в почве будут сохраняться ранее накопленные металлы, обуславливая реликтовое или остаточное загряз-

Таблица 4. Уровни загрязнения снежного покрова элементами и пылью [по 18]

Уровни	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова, $Z_c$	Выпадение пыли, $P_{п}$ , (кг/км <sup>2</sup> · сут)	Выпадение элементов с пылью, $Z_p$
Низкий	32–64	100–250	1000
Средний	64–128	250–450	1000–5000
Высокий	128–256	450–850	5000–10000
Очень высокий	>256	>850	>10000

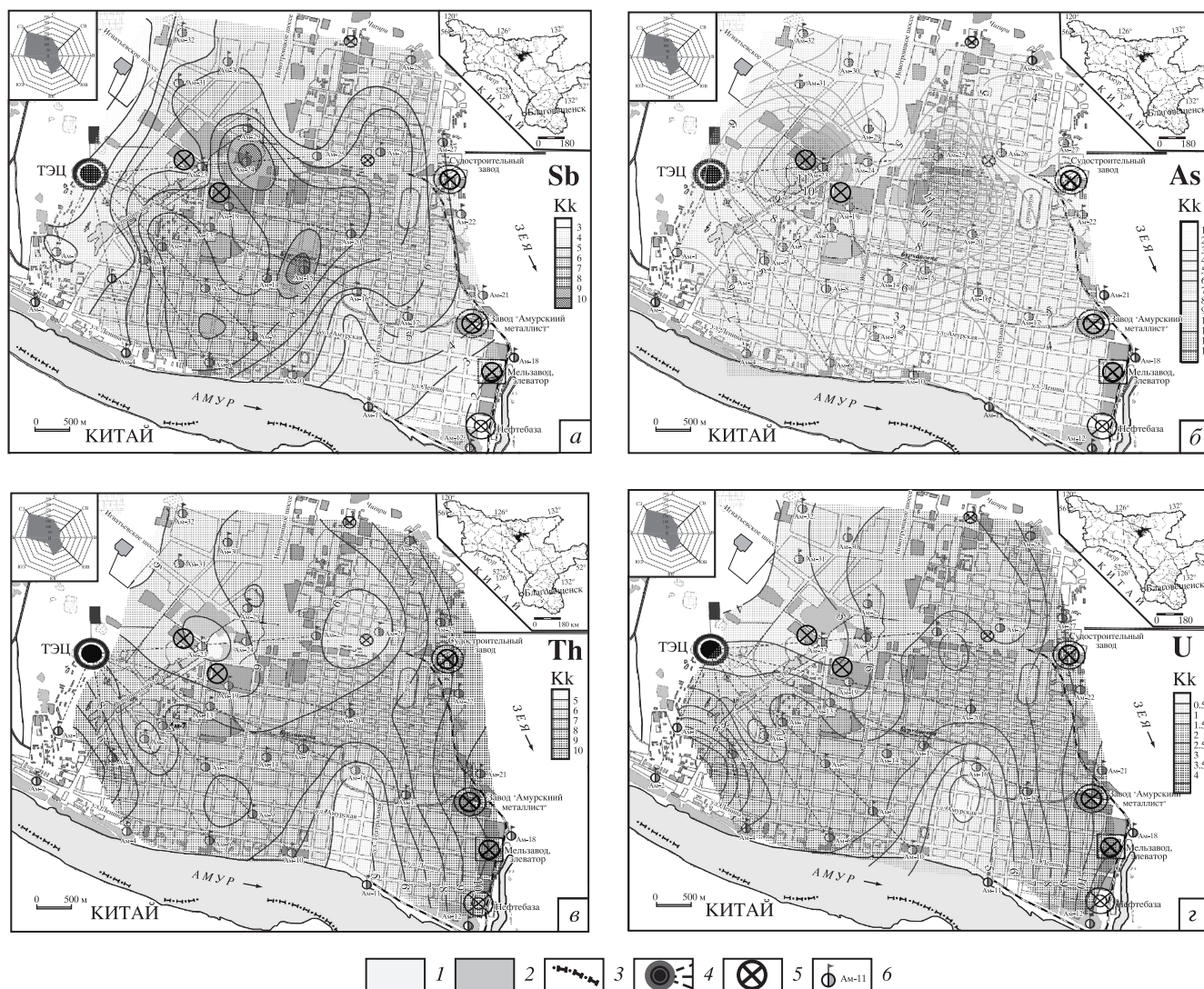


Рис. 4. Ореолы элементной нагрузки в пылевой составляющей снегового покрова на территории г. Благовещенска (Амурская область), рассчитанные по  $K_c$ : а – сурьма; б – мышьяк; в – торий; г – уран. Условные обозначения: Кк – коэффициент концентрации относительно фоновых значений; 1 – жилые территории; 2 – территории промышленных предприятий; 3 – государственная граница России с Китаем; 4 – ТЭЦ и подфакельные направления выбросов; 5 – заводы, котельные; 6 – места отбора снеговых проб и их номера. Врезки – роза ветров за осенне-зимний период.

нение. Для всех исследуемых элементов выявлено высокое (Se, Sb) или очень высокое (As, Te, Tl, Bi, Th, U) преобладание взвешенных нерастворимых форм и соответственно депонирование их в почве. Сравнение концентраций высокотоксичных элементов с ПДК (см. табл. 2), утвержденных для

поверхностных вод, свидетельствует о незначительном содержании растворимых форм в снеговой массе.

Суммарный показатель загрязнения снежного покрова  $Z_c$ , рассчитанный для территории го-

рода по минимально-максимальным значениям коэффициентов концентраций и по их медиане, свидетельствует, что уровень загрязнения снегового покрова урбанизированной территории нерастворимыми формами элементов низкий (табл. 3). Разброс минимально-максимальных показателей загрязнения растворимыми формами элементов широкий – от низкого уровня до высокого в отдельных точках обследования (т.т. Ам-13, Ам-16, Ам-18, Ам-25 – Ам-27) при медиане 54.3 (см. табл. 3).

Суммарная нагрузка группой исследуемых элементов с пылью ( $Z_p$ ) на атмосферу города в целом составляет 2989 единиц, что характеризует ее как среднюю по шкале уровней загрязнения снежного покрова металлами и пылью (табл. 4). Этот факт свидетельствует о том, что суммарное поступление, а следовательно, и последующее накопление металлов в геосистеме происходит больше за счет твердых выпадений, что предполагает потенциальную опасность для биоты в случае изменения реакции почвенных растворов и возможные отдаленные последствия такого реликтового загрязнения.

Локализация геохимических аномалий по исследуемым элементам носит различный характер (рис. 4), что потенциально позволяет наметить зоны устойчивого, реликтового и современного загрязнения. Для тех элементов (Te, Sb, Bi), распространение которых в большей степени обусловлено переработкой рудного сырья, деятельностью промышленных предприятий, более характерно локально-пятнистое пространственное расположение аномалий (рис. 4 а). Повсеместная локализация геохимических аномалий характерна для U, Th, As, Se, Tl, распространению которых в большей степени способствует сжигание органического топлива ТЭЦ и малыми топливными установками котельных и частного сектора (рис. 4 б, в, г).

## ВЫВОДЫ

Оценочные показатели снегового опробования на территории Благовещенска свидетельствуют о низком уровне пылевой нагрузки в приземном слое атмосферного воздуха ( $P_n = 14\text{--}210 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). При среднем уровне показателя общего выпадения металлов ( $Z_p = 2989$ ) выявлено высокое (Se, Sb) или очень высокое (As, Te, Tl, Bi, Th, U) преобладание нерастворимых соединений высокотоксичных элементов и радионуклидов по сравнению с их растворимыми формами.

Концентрации высокотоксичных элементов на всех исследуемых точках не превышали ПДК для поверхностных вод. Ориентируясь на рекомендуемые геохимические показатели качественного состояния снегового покрова, загрязнение воздуха в Благовещенске нерастворимыми соединениями высокотоксичных металлов и радионуклидов по суммарным показателям оценивается как загрязнение низкого уровня ( $Z_c = 14.71\text{--}59.5$ ), тогда как загрязнение растворимыми соединениями этих элементов достигает более высокого уровня ( $Z_c = 8.1\text{--}211.6$ ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев И.А.* Ландшафтное районирование и комплексная оценка ландшафтов южной части Амурского междуречья. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2005. 185 с.
2. *Беспмятников Г.П., Богушевская К.К., Беспмятнова А.В., Кротов Ю.А. и др.* Предельно допустимые концентрации веществ в воздухе и воде / Справочное пособие для выбора и гигиенической оценки методов обезвреживания промышленных отходов. Л.: Химия, 1975. 456 с.
3. *Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н.* Методы анализа данных загрязнения снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий // *Геоэкология*. 2009. № 6. С. 515–525.
4. *Водяницкий Ю.Н.* Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // *Почвоведение*. 2013. № 7. С. 872–881.
5. ГН 2.1.5.1315-03. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования” // Режим доступа: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm>
6. ГН 2.1.5.2280-07. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования”. Дополнения и изменения №1 к ГН 2.1.5.1315-03 // <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.2280-07.htm>
7. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году”. М.: Изд-во АНО “Центр международных проектов”, 2006. 500 с.
8. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году”. М.: МПР РФ, 2011. 571 с.
9. Государственный доклад “Об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области за 2012 год”. Благовещенск: Министерство природных ресурсов Амурской области, 2013. <http://www.amurobl.ru/w>

10. ГОСТ 17.1.5.05-85. “Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков”. М.: Изд-во стандартов, 1985. 26 с.
11. Доровских В.А., Заболотских Т.В., Мусина С.А., Радомская В.И., Радомский С.М. Микроэлементы в экосистемах Приамурья. Благовещенск: Изд-во АГМА, 2006. 155 с.
12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Кн. 3. Редкие р-элементы. М.: Недра, 1996. 352 с.
13. Кондратьев И.И. Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 1. С. 107–112.
14. Кортаев Г.В. Благовещенск: природа и экология. Благовещенск: Изд-во БГПИ, 1994. 125 с.
15. Котельникова И.М., Куимова Н.Г., Павлова Л.М., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П. Полициклические ароматические углеводороды в твердых частицах снежного покрова как показатели загрязнения городской атмосферы // Изв. Самарск. научн. центра РАН. 2011. Т. 13 (39), № 1 (6). С. 1341–1346.
16. Куимова Н.Г., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М., Борисова И.Г. Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // Геоэкология. 2012. № 5. С. 422–435.
17. Маркова Ю.Л. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка “Лосиный остров” // Автореф. дис.... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2003. 110 с.
18. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 1990. 8 с.
19. Негрбов О.П., Астанин И.К., Стародубцев В.С., Астанина Н.Н. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга // Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Формация. 2005. № 2. С. 149–153.
20. Отчет о результатах геоэкологических исследований в г. Благовещенске Амурской области в 1990–1991 гг. Рег. № 47-90-10/24. Благовещенск: Изд-во ГПП “Амургеология”, 1992. 92 с.
21. Саев Ю.Е., Ревич В.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
22. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: Изд-во УРО РАН, 2005. 596 с.
23. Юсупов Д.В., Степанов В.А., Трутнева Н.В., Мозилев А.А. Минеральный и геохимический состав твердого осадка в снеговом покрове г. Благовещенск (Амурская область) // Изв. ТПУ. 2014. Т. 324. № 1. С. 184–189.
24. Shindell Drew T., Collins William J., Dalsoren Stig et al. Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change// Environ. Res. Lett. 2013. № 8. // <http://iopscience.iop.org/>

## HIGHLY TOXIC ELEMENTS IN SNOW COVER IN THE BLAGOVESHCHENSK TERRITORY

L. M. Pavlova \*, V. I. Radomskaya \*, D. V. Yusupov \*\*

\* *Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch,  
Russian Academy of Sciences; Relochniy per. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia.  
E-mail: pav@ascnet.ru*

\*\* *Tomsk Polytechnic University, pr. Lenina 30, Tomsk, 634050 Russia.  
E-mail: yusupovd@mail.ru*

Snow testing in the urbanized territory of the low-industrial Far East Blagoveshchensk city allowed us to estimate not only the present state of air, but also the quantitative and qualitative composition of future migrants, i.e., insoluble compounds of highly toxic elements (As, Se, Sb, Te, Tl, Bi, Th, U) coming to underlying soils within the atmospheric dust.

**Keywords:** *snow testing, urbanized territory, highly toxic elements, radionuclides, air contamination.*