

Геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории г. Томска

А.В. Таловская*

Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Поступила в редакцию 18.01.2010 г.

Представлены результаты геохимической оценки территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей. Для изучения пылевых атмосферных выпадений проводили отбор проб снега. При изучении геохимического состава проб твердого осадка снега использовался инструментальный нейтронно-активационный анализ. По результатам исследования выявлено, что участки аномальных величин среднесуточного притока пыли с редкоземельными, редкими и радиоактивными элементами из атмосферы на снеговой покров расположены в северо-восточной части города, где сосредоточена основная часть предприятий строительной индустрии, а также в центральной части города, где расположено крупное в городе предприятие топливно-энергетического комплекса.

Ключевые слова: пылеаэрозоли, геохимия, урбанизированные территории, инструментальный нейтронно-активационный анализ, редкоземельные элементы, радиоактивные элементы; dust-aerosols, geochemical, urban areas, instrumental neutron activation analysis, rare elements, radioactive elements.

Введение

Томск — крупный научный культурный и промышленный центр Сибирского федерального округа России, административный центр Томской области. Преобладающими в г. Томске являются южные и юго-западные ветры. В административном отношении город разделен на четыре внутригородские территории: Кировский (южная часть), Советский (центральная часть), Ленинский и Октябрьский районы (северная часть). Промышленный потенциал города представлен значительным блоком топливно-энергетического комплекса, нефтехимперерабатывающей, деревообрабатывающей промышленностью, предприятиями по производству строительных материалов и рядом других специфических производств. Все эти предприятия выбрасывают значительные массы пылеаэрозолей в атмосферный воздух. В градостроительном отношении отсутствует четкое деление территории города на промышленные и селитебные зоны. Промышленные предприятия располагаются в жилых кварталах города, не имея четко определенных границ санитарно-защитных зон.

Наибольший вклад в общий объем выбросов вредных веществ в атмосферу по городу вносят предприятия электроэнергетической отрасли: Томская ГРЭС-2 ОАО «Томскэнерго», Томский филиал ТГК-11 ТЭЦ-3; химнефтепрома: ОАО «Томский нефтехимический завод» (ТНХК), ЗАО «Метанол». Выбросы этих предприятий составляют 67% выбросов от всех стационарных источников. В настоящее время в техно-

логическом цикле предприятий электроэнергетической отрасли используется преимущественно природный газ (60–70%), тогда как на долю угля приходится 30–40%.

Большая часть территории Томска находится в условиях чистой и умеренно загрязненной атмосферы. На этом фоне выделяются два района с сильно загрязненной атмосферой: это промузел ОАО «Томский нефтехимический завод» и центральная часть Томска, захватывающая Кировский и Советский районы [1].

Анализ ранее проведенных эколого-геохимических исследований пылевых атмосферных выпадений на территории г. Томска показывает, что преимущественное внимание при этом уделялось изучению уровней накопления в них тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Cd и др.) [2–5]. Имеется ряд работ по изучению содержания редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в пылеаэрозолях в отдельных частях г. Томска [6–8].

В настоящей статье обсуждаются результаты детального изучения геохимического состава пылевых атмосферных выпадений в целом на всей территории г. Томска с применением современной аппаратуры, что позволяет объективно оценивать уровень загрязнения.

Методика измерений и обработки данных

Пробы снега уже давно используются для изучения химического состава, количества и пространственного распределения аэрозольных частиц.

Для изучения пылевых атмосферных выпадений в марте 2007 г. был проведен площадной отбор

* Анна Валерьевна Таловская (talovskaj@yandex.ru).

снега на всей территории г. Томска (рис. 1) по регулярной сети с интервалом 500–600 м. Всего на территории города было взято 69 проб снега.

Отбор и подготовку снеговых проб выполняли с учетом методических рекомендаций, приводимых в [9–11] и в руководстве по контролю загрязнения атмосферы [12]. Использовался также многолетний практический опыт эколого-геохимических исследований на территории Западной Сибири [7, 8, 13]. Более подробное описание методики было представлено ранее в [14], где приведены результаты изучения твердого осадка снега.

Все пробы твердого осадка снега были проанализированы нами инструментальным нейтронно-активационным анализом на содержание (концентрация, мг/кг) химических элементов в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии, функционирующей на базе ядерного реактора Научно-исследовательского института ядерной физики при Томском политехническом университете (аналитики: с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская).

Данные аналитических измерений использовались согласно [9, 10] для расчета пылевой нагрузки $P_{п}$, мг/(км²·сут), или кг/(км²·сут), общей нагрузки (среднесуточного притока химических элементов из атмосферы) $P_{общ}$, мг/(м²·сут), создаваемой поступлением каждого из химических элементов в окружающую среду, коэффициента концентрации K_c и суммарного показателя нагрузки Z_p , характеризующего эффект воздействия всего спектра рассматриваемых элементов и рассчитываемого относительно уровня притока микроэлементов в фоновых районах.

Значение K_c изучаемых элементов было рассчитано относительно фоновых значений, ранее полученных для Томской области и приведенных в работах [8, 13]. Более подробное описание расчета данных величин было представлено нами в работе [14]. Для обработки аналитических данных также использовались статистические методы с применением программы Statistica 6.0. При расчете геохимических параметров в качестве среднего уровня содержаний химических

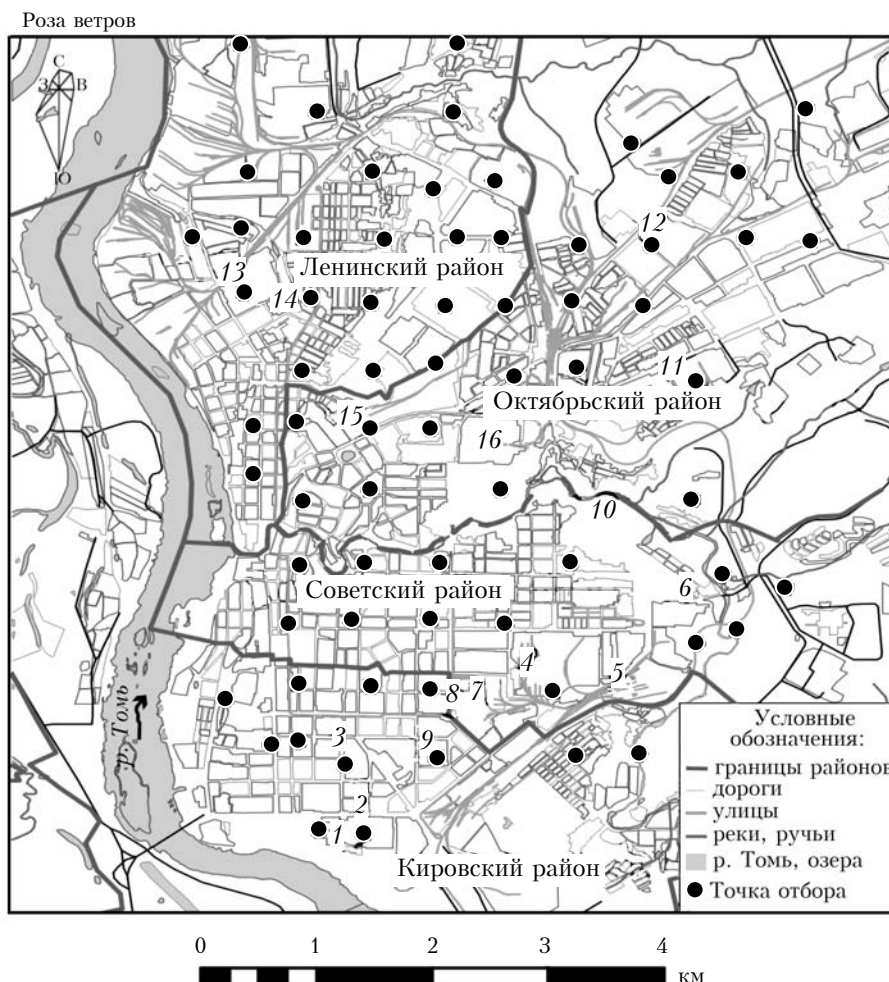


Рис. 1. Схема отбора проб снега на территории г. Томска. Промышленные предприятия (1–16): 1 – ООО «Континенть»; 2 – ОАО «Томский инструмент»; 3 – ОАО «Томский электроламповый завод»; 4 – Томская ГРЭС-2 ОАО «Томскэнерго»; 5 – ООО «Завод крупнопанельного домостроения ТДСК»; 6 – «Эмальпроизводство ЗАО «Сибкабель»; 7 – ОАО «Манотомь»; 8 – ОАО «Сибэлектромотор»; 9 – ФГУП «Томский электротехнический завод» и НПО «Полюс»; 10 – золотоотвал Томской ГРЭС-2 ОАО «Томскэнерго»; 11 – ЗАО «Карьероуправление»; 12 – ОАО «Завод ЖБК-100» и ООО «Керамзит-Т»; 13 – ОАО ТрансВудсервис «Томский шпалопропиточный завод»; 14 – ООО «Томский завод резиновой обуви»; 15 – ЗАО «Сибкабель»; 16 – ЗАО «Томский подшипник»

элементов были приняты среднеарифметические значения по выборке.

Результаты исследований

По данным снеговой съемки, величина пылевой нагрузки на территорию г. Томска изменяется от 16 до 303 мг/(м²·сут) при среднем значении 63 мг/(м²·сут) (рис. 2).

По степени запыленности административные районы города образуют следующий ряд: Октябрьский – 84,3, Советский – 62,7, Ленинский – 55,9 и Кировский – 43,6 мг/(м²·сут).

Наиболее контрастные участки среднесуточного притока пыли на снеговой покров расположены на территории северо-восточной части города (Октябрьский район), где сосредоточена основная часть предприятий строительной индустрии, а также на территории центральной части города (Советский район), где расположена Томская ГРЭС-2. В целом, наблюдаемая геохимическая ассоциация (в рамках изученного спектра химических элементов) фиксирует наиболее распространенные в городе типы источников загрязнения – топливно-энергетический комплекс, стройиндустрию, предприятия по металлообработке и автотранспорт (табл. 1).

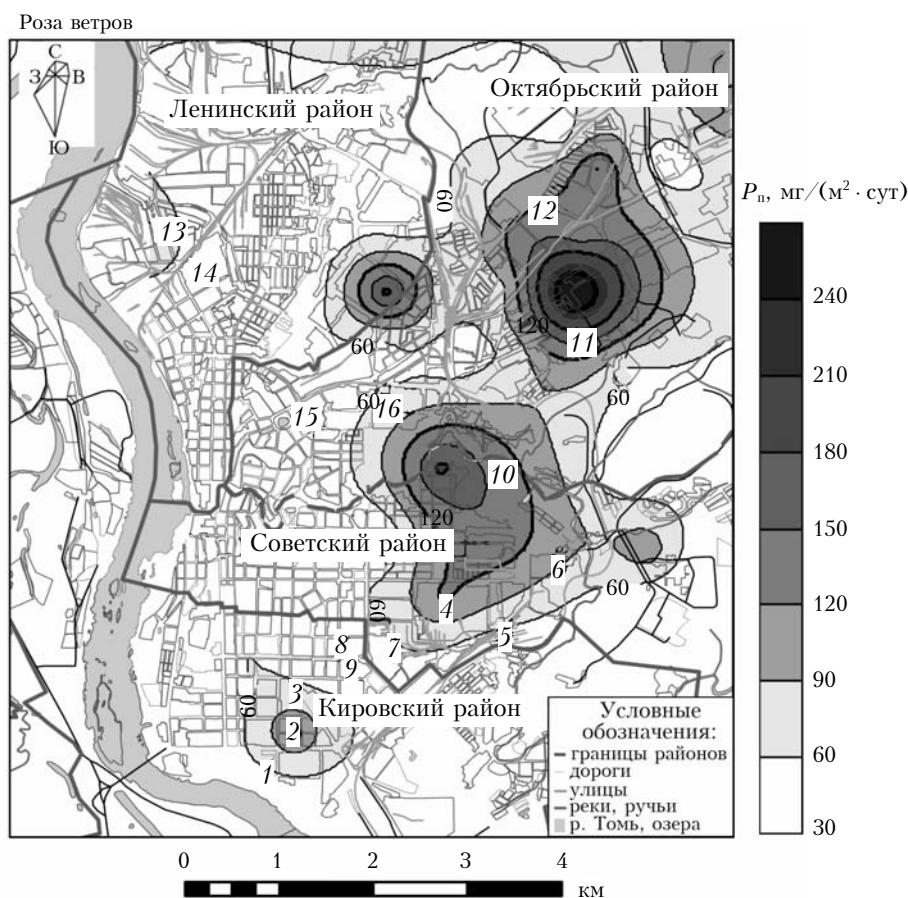


Рис. 2. Карта пространственного распределения пылевой нагрузки на территорию г. Томска, по данным снегового геохимического опробования, мг/(м²·сут) (условные обозначения см. в подписи к рис. 1)

Таблица 1

Геохимические ряды ассоциаций элементов (относительно фона*) в пылеаэрозолях г. Томска

Город, район	Геохимический ряд
г. Томск	U _{13,8} –Tb _{11,5} –Yb _{9,5} –La ₉ –Ba _{8,6} –Ta _{8,1} –As _{7,6} –Sm _{7,6} –Ce _{5,2} –Na _{4,5} –Ag _{4,3} –Br _{4,2} –Lu _{4,1} –Sb ₃ –Th _{2,3} –Hf _{2,1} –Sr _{1,8} –Ca _{1,5} –Fe _{1,4} –Co _{1,3} –Sc _{1,2} –Eu _{1,1} –Cs ₁ –Cr _{0,9} –Rb _{0,8} –Au _{0,3}
Кировский	U _{13,1} –Ba ₁₀ –Tb _{9,7} –Yb ₈ –La _{7,9} –Ta ₇ –Sm _{6,4} –Br _{5,2} –As _{4,6} –Ce _{4,3} –Ag ₄ –Na _{3,7} –Lu _{3,5} –Sb _{3,4} –Th _{1,9} –Hf _{1,7} –Ca _{1,4} –Fe _{1,2} –Co _{1,2} –Sr _{1,1} –Cr ₁ –Sc ₁ –Cs _{0,8} –Eu _{0,7} –Rb _{0,7} –Au _{0,3}
Советский	U _{10,6} –Tb _{9,2} –Ba _{8,3} –Yb _{8,1} –La ₈ –Sm _{6,6} –Ta _{6,3} –Ag _{5,3} –Na _{4,5} –Ce ₄ –Lu _{3,5} –As ₃ –Sb ₃ –Br _{2,5} –Th ₂ –Hf _{1,8} –Sr _{1,8} –Ca _{1,5} –Fe _{1,3} –Co _{1,1} –Cs _{0,8} –Cr _{0,8} –Rb _{0,8} –Eu _{0,7} –Au _{0,2}
Октябрьский	U _{12,8} –Tb _{12,6} –As ₁₁ –Yb _{10,3} –La _{9,2} –Ta _{8,8} –Sm _{8,2} –Ba _{7,4} –Ce _{5,6} –Na _{5,3} –Lu _{4,6} –Br _{4,2} –Ag ₄ –Sb _{2,7} –Th _{2,5} –Hf _{2,4} –Fe _{1,6} –Ca _{1,5} –Sr _{1,5} –Sc _{1,4} –Co _{1,4} –Cs _{1,1} –Eu ₁ –Rb ₁ –Cr _{0,9} –Au _{0,2}
Ленинский	U _{18,4} –Tb _{13,7} –Yb _{10,8} –La _{10,5} –As _{8,9} –Ta _{8,8} –Ba _{8,7} –Sm _{8,6} –Ce _{6,3} –Br _{4,6} –Lu _{4,6} –Na _{4,4} –Ag ₄ –Sb _{2,9} –Th _{2,8} –Sr _{2,6} –Hf _{2,4} –Eu _{1,8} –Co _{1,6} –Fe _{1,5} –Ca _{1,5} –Sc _{1,4} –Cs _{1,1} –Rb _{0,9} –Cr _{0,9} –Au _{0,3}

* Фон по данным [8, 13].

Следует отметить, что пробы из северной части города (Ленинский и Октябрьский районы) характеризуются высоким накоплением As и U относительно фона.

По данным исследований ряда авторов [15, 16], выявлено, что угли, используемые в технологическом процессе предприятий топливно-энергетического комплекса города, обогащены мышьяком, редкими, редкоземельными и радиоактивными элементами, в то же время определено, что в золе этих углей содержание рассматриваемых элементов в несколько раз выше, чем в углях.

Кроме того, было установлено, что эти элементы являются типоморфными для пылевых выбросов топливно-энергетического комплекса. Высокие концентрации La, Ce, Eu, Yb, Hf и Ta также были зафиксированы в пылевых выбросах предприятий строительной индустрии [8].

По результатам исследований особенностей пылеаэрозолей по мере удаления (от 400 до 1300 м) от Томской ГРЭС-2, согласно розе ветров, было выявлено, что содержание данных химических элементов в пылеаэрозолях увеличивается в 2 раза [7]. Эти факты показывают, что одним из источников посту-

пления редкоземельных, редких и радиоактивных элементов на территории г. Томска можно считать топливно-энергетический комплекс (Томская ГРЭС-2, частный сектор, котельные и др.). Однако нельзя исключать и природный источник поступления редких и редкоземельных элементов, которым в данном случае может выступать кора выветривания. Наличие Туганского месторождения циркон-ильменитовых песков, содержащих редкие и редкоземельные элементы, является тому подтверждением. Другой вопрос, каким образом эти элементы могут поступать и на какие площади? Это требует дополнительных исследований.

Бром и сурьма поступают в окружающую среду с выхлопами автотранспорта, но в то же время в пылеаэрозолях в районе расположения ТНХК была зафиксирована ассоциация Br с Sb. Накопление Sb и Ba характерно для пыли, образующейся при производстве стройматериалов, также эти элементы поступают с выбросами предприятий топливно-энергетического комплекса [8, 9, 18].

Значения среднесуточного притока микроэлементов из атмосферы на снеговой покров территории г. Томска изменяются от 3,6 до 47207 мг/(км² · сут) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Среднее значение среднесуточного притока химических элементов из атмосферы на снеговой покров территории г. Томска, мг/(км² · сут)

Элемент	г. Томск (n = 69)	Кировский район (n = 14)	Советский район (n = 16)	Октябрьский район (n = 20)	Ленинский район (n=19)	Фон
Ca	721,3 ± 76,4	506 ± 76,7	700 ± 137	966 ± 213	662 ± 97,1	57
Na	452,2 ± 63,4	232 ± 57,5	474 ± 126	665 ± 165	398 ± 95,3	10,5
Fe	1744 ± 191	1024 ± 204	1605 ± 436	2560 ± 461	1594 ± 259	130
Co	863 ± 88,3	537 ± 97,6	687 ± 85	1219 ± 225	891,5 ± 124	72,1
Cr	5927 ± 552	4791 ± 874	5354 ± 1408	7956 ± 1299	5170 ± 606	770
Sc	572 ± 71,8	310 ± 72,6	414 ± 88	902 ± 194,7	563 ± 101	49,7
As	236 ± 48,4	90,4 ± 32,1	162 ± 54,5	384 ± 110,5	258,1 ± 94,9	3,5
Sb	371 ± 33,1	282 ± 43	436 ± 65	430 ± 49,8	334 ± 32,5	16,1
Ag	65,4 ± 6,4	43,5 ± 6,2	76,6 ± 19	84,3 ± 13,9	55,6 ± 8,5	1,7
Au	3,6 ± 0,5	3,7 ± 1,7	3,3 ± 1,1	4,3 ± 1,1	3,0 ± 0,4	1,5
Ba	47207 ± 3569	36716 ± 6960	47158 ± 8973	56386 ± 7499	46416 ± 5031	700
Sr	9501 ± 1513	4197 ± 976	10574 ± 4608	9534 ± 2494	13141 ± 3226	700
Rb	3095 ± 383	1621 ± 306	2894 ± 791	4630 ± 1004	2868 ± 502	385
Cs	223 ± 29,5	125 ± 24,1	158 ± 31,3	355 ± 86,7	215 ± 30,9	24,5
Br	706 ± 80,3	579 ± 117	414 ± 123	1015 ± 193	703 ± 139	20,3
Hf	300 ± 34,7	158 ± 27,3	230 ± 44,7	471 ± 94,5	295 ± 46,1	15,4
La	1557 ± 154	933 ± 145	1247 ± 248	2233 ± 408	1597 ± 206,1	19,6
Ce	3398 ± 343	1908 ± 346	2656 ± 537	4993 ± 891	3520 ± 463	72,1
Sm	273 ± 29,5	152 ± 23,5	220 ± 47,5	415 ± 77,8	267 ± 40,2	4
Eu	76 ± 10,6	37,3 ± 10,2	52,3 ± 12,5	106,4 ± 23	94,2 ± 24,9	7,7
Tb	43,9 ± 4,7	25,5 ± 5	30,7 ± 5,7	66,2 ± 11,6	45,6 ± 8	0,4
Yb	120 ± 12,7	67,7 ± 10,6	91,7 ± 18,4	178 ± 32,5	122 ± 20,6	1,4
Lu	19,8 ± 2,2	11,3 ± 2	15 ± 3	30,7 ± 5,9	19 ± 3	0,5
Ta	50 ± 5	32,3 ± 5,3	37,6 ± 8,1	74 ± 13,1	48,6 ± 6,7	0,7
U	171 ± 17,9	110 ± 20,2	127 ± 28,7	222 ± 47,7	201 ± 26,6	1,4
Th	426 ± 47,2	243 ± 47,7	304 ± 59,1	637 ± 130	450 ± 60,5	20,3

Примечание. Ca, Na, Fe – в г/(км² · сут); ± – стандартная ошибка; n – количество проб; фон по данным [8, 13].

Величина среднесуточного притока изучаемых химических элементов на снеговой покров территории г. Томска в десятки раз превышает таковую для фонового района. В целом, в северо-восточной части города (Октябрьский район) зафиксированы повышенные значения среднесуточного притока абсолютного большинства изучаемых элементов из атмосферы на снеговой покров.

Сравнение среднесуточного притока тяжелых металлов, редкоземельных, редких, радиоактивных, макроэлементов, Au, Ag и Вг из атмосферы на снеговой покров районов г. Томска параметрическими критериями Стьюдента и непараметрическими критериями Колмогорова–Смирнова и Манна–Уитни показало следующее.

Сравнение среднесуточного притока рассматриваемых элементов на снеговой покров южной части (Кировский район) и северо-восточной части (Октябрьский район) города показало значимые и сильно значимые различия данной величины для большинства элементов, за исключением Cr, Sb, Ca, Вг и Au. Значимые и сильно значимые различия величин среднесуточного выпадения химических элементов из атмосферы на снеговой покров приходится на северо-восточную часть города. Сравнение среднесуточного притока рассматриваемых элементов на снеговой покров для других частей города показало слабо значимые и незначимые различия данной величины для рассматриваемых элементов.

Сравнение величин среднесуточного притока изучаемых химических элементов на снеговой покров территории г. Томска и отдельно на территории его северо-восточной части с аналогичными критериями показало значимые различия данной величины для As, Lu, Rb, Hf, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Ta, Th, Na, Fe.

Значение суммарного показателя нагрузки распределено неравномерно на территории г. Томска — от 100 до 4700 при фоновом значении 28 (рис. 3).

Ореолы повышенных значений этого показателя формируются за счет среднесуточного притока большинства рассматриваемых элементов. Районы города по суммарному показателю нагрузки ранжируются следующим образом: Октябрьский — 1448, Ленинский — 1027, Советский — 826 и Кировский — 595. Наиболее контрастные участки с аномальными значениями этого показателя приходятся на северо-восточную часть города, где сосредоточены предприятия строительной индустрии и ведется активное строительство новых жилых кварталов. Кроме того, ореолы высоких значений суммарного показателя нагрузки пространственно соответствуют зоне воздействия Томской ГРЭС-2. Отметим, что по данным изучения почв на территории г. Томска [19] ореолы повышенных концентраций изучаемых химических элементов также были зафиксированы в этих районах города, что свидетельствует о присутствии постоянных источников их поступления.

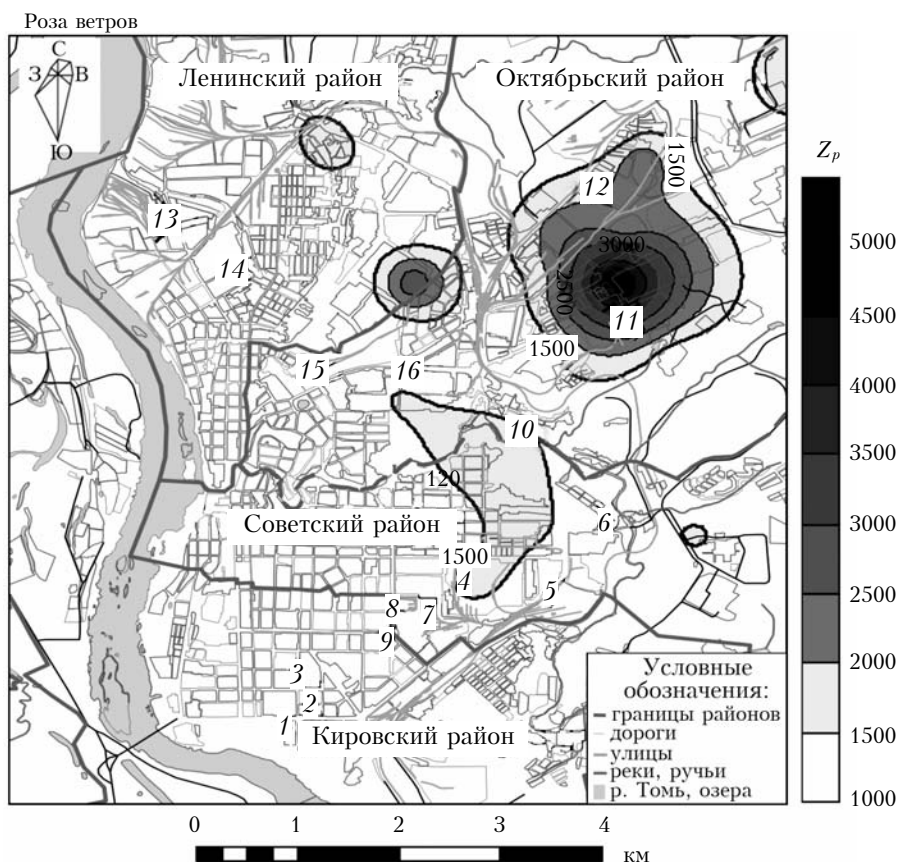


Рис. 3. Карта пространственного распределения суммарного показателя нагрузки на снеговой покров (Z_p) территории г. Томска (условные обозначения см. в подписи к рис. 1)

Заключение

В целом, по результатам исследования было установлено, что геохимическая специализация (в рамках изученного спектра химических элементов) пылевых атмосферных выпадений на территории г. Томска проявляется в повышенных концентрациях урана, бария, брома, сурьмы, серебра и редкоземельных элементов в них. Основными источниками поступления техногенной пыли в атмосферу г. Томска являются предприятия топливно-энергетического комплекса и предприятия стройиндустрии. Установлено, что участки аномальных величин среднесуточного притока пыли и химических элементов из атмосферы на снеговой покров территории города расположены в его северо-восточной части, где сосредоточена основная часть предприятий строительной индустрии, а также в центральной части, где расположена Томская ГРЭС-2.

1. Арбузов С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов [и др.]. Кемерово: Изд-во КПК, 2000. 246 с.
2. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А.П. Бояркина, В.В. Байковский, Н.В. Васильев [и др.]. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 157 с.
3. Аэрозоли Сибири / [И.С. Андреева и др.]; отв. ред. К.П. Куценогий; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химической кинетики и горения [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с. (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 9).
4. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Ф. Фридман. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 185 с.
5. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саег, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
6. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск: ТПУ, 2009. 22 с.
7. Летувинкас А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2002. 290 с.
8. Летувинкас А.И. Геохимические аспекты формирования техногенного загрязнения территории города // Гео-

экологические проблемы урбанизированных территорий: Труды Междунар. научн. конф. Томск: ТГАСУ, 1999. С. 58–59.

9. Мананков А.В., Яковлев В.М., Гудошникова В.С. Геоэкология промышленных отходов г. Томска // Природокомплекс Томской области. Геология и экология. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1995. Т. 1. С. 269–273.
10. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.
11. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
12. Семин Т.А., Иванов А.О. Геохимические особенности снегового покрова г. Томска и его окрестностей: Матер. научн. конф., посвященной 100-летию проф. Томского политехнического университета П.А. Удодова // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. С. 114–117.
13. Таловская А.В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск: ТПУ, 2008. 23 с.
14. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Панченко М.В., Козлов В.С. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 6. С. 517–523.
15. Шатилов А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск: ТПУ, 2001. 22 с.
16. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2005 году / Под ред. А.М. Адама; Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Адм. Томской области. Томск: Графика, 2006. 148 с.
17. Экология Северного промышленного узла г. Томска. Проблемы и решения / Под ред. А.М. Адама. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 260 с.
18. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П. Содержание радиоактивных и редкоземельных элементов в аэрозольных выпадениях снегового покрова различных территорий Западной Сибири: Матер. Междунар. конф., 22–24 мая 1996 г., Томск // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск: Изд-во ТПУ, 1996. С. 312–316.
19. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Дис. ... докт. геол.-минер. наук. Томск: ТПУ, 2006. 420 с.

A. V. Talovskaya. Geochemical characteristic of dust atmospheric precipitations on the Tomsk area.

The results of geochemical assessment within Tomsk-city according to the dust-aerosols study are presented. The snow samples were collected to study of dust atmospheric fall-outs. Instrumental neutron activation analysis was used when studying geochemical composition of snow solid residue. According to the received data, places of anomalous values of daily dust fall-outs, containing rare, rare-earth and radioactive element were revealed. These places were revealed in the north-east of the city, where most part of plants of the construction industry are located, and in central part of the city, where the largest electric power station is located.