

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.3.054:662.613:911.37

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ г. КЫЗЫЛА ПЫЛЕВЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЫМОВЫХ ВЫБРОСОВ

© 2016 г. Л. Х. Тас-оол*, Б. Г. Хомушку**, С. А. Чупикова*, Н. Н. Янчат*

* Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,
ул. Интернациональная, 117а, г. Кызыл, Республика Тыва, 667007 Россия.
E-mail: tasool51@mail.ru

** ФГБОУ ВПО “Тувинский государственный университет”,
ул. Ленина, 36, г. Кызыл, Республика Тыва, 667000 Россия. E-mail: b0latik@yandex.ru

Поступила в редакцию 5.11.2015 г.

После исправления 15.02. 2016 г.

Проведен мониторинг пылевых загрязнений, выпавших на снеговой покров г. Кызыла в 2012–2014 гг. Содержание сажи/недожога в пылевых частицах дымовых выбросов ($C_{\text{орг}}$, мг/кг) оценивали по потере абсолютно-сухой массы пыли/снеговой взвеси при прокаливании при 800°C. Элементный состав минеральных составляющих пыли исследовали методом электронной микроскопии, содержания тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Проведен качественный анализ состава пыли, идентифицировано 34 химических элемента. Выявлены источники пылевого загрязнения снега – дымовые выбросы угольного топлива. Рассчитаны накопления (относительно фона) тяжелых металлов (Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu, Co, Mn, Ni, Fe) и органоминеральных частиц пыли – ассоциации всех элементов пыли за исключением перечисленных тяжелых металлов. В промышленном секторе содержание сажи достигает 73% от общей массы снеговой взвеси, в частном секторе – 63%, в выбросах ТЭС не превышает 12% от общей массы золоуносов. Наибольшее увеличение темпа загрязнения наблюдалось в северной правобережной зоне города. Ускорение темпа загрязнения города в целом связано с расширением частного сектора.

Построены карты распределения пылевых частиц. Выявлена тенденция к ухудшению экологического состояния города при сохранении существующей схемы его теплоснабжения. Показатель суммарного загрязнения снежного покрова варьирует в пределах 52–393. Основная масса пылевых частиц дымовых выбросов осажается в центральной зоне города.

Ключевые слова: снежный покров, дымовые выбросы, органоминеральные частицы, сажа, тяжелые металлы.

В последнее время во многих исследованиях [7, 10, 14] индикация техногенной загрязненности атмосферы урбанизированных территорий проводится с привлечением данных химического состава устойчивого снежного покрова. Зимой воздушные поллютанты количественно аккумулируются подстилающей толщей снегового покрова в процессах оседания, адсорбции и взаимодействия с выпадающими осадками. Весной в период снеготаяния накопленные загрязнения переходят в другие виды экосистем – поверхностные и подземные воды, почву. Проведение мониторинговых исследований состава снега на постоянных участках позволяет выявить степень

и динамику антропогенных загрязнений, экстраполировать полученные данные на всю площадь воздействия, отслеживать и интерпретировать тенденции в масштабе изменений качества природной среды.

В работе оценивается загрязнение воздушного бассейна г. Кызыла и пригорода (площадь $S = 263 \text{ км}^2$) в зимний отопительный сезон на основе данных мониторинга снежного покрова. Город расположен в относительно узкой (вытянутой с востока на запад) межгорной котловине, при низких температурах в приземном слое атмосферы образуется своеобразная «инверсионная крыша»,

препятствующая циркуляции воздушных масс, снос и рассеиванию выбросов. В периоды формирования зимнего смога, продолжительность которого составляет в среднем 50–60 сут., мелко-дисперсная пыль с включениями сажи, проникая в помещения, оседает на поверхностях с образованием трудно удаляемых жирных налетов; загрязнения доставляют серьезную проблему и для людей, страдающих заболеваниями дыхательных путей. Основная причина неблагоприятной экологии города кроется в энергетическом сжигании реакционноспособных каа-хемских углей марки Г (газовые), Ж (жирные) и ГЖ, представляющих собой ценнейшее сырье для химической и термохимической переработки. У этих углей температура начала термической деструкции низкая, первичная пластичная смола образуется уже в интервале 210–270°C, дальнейшее повышение температуры усиливает процессы деструкции органической массы угля, сопровождающиеся интенсивным выделением летучих веществ (газов, паров, смолистых соединений) с выходом более 36% от массы топлива [5, 6].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследования положен трехлетний (2012–2014 гг.) мониторинг снежного покрова (СП) г. Кызыла. В соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы [9] отбор проб снега проводился в начале марта в период максимальных снегозапасов с замером глубины залегания снежного покрова ($h = 8–25$ см, без нижнего сантиметрового слоя) в трубу цилиндрической формы с площадью поперечного сечения 400 см². Пробы снега растапливали в стеклянных емкостях при комнатной температуре (объемы талых проб 2–8 л), фильтровали через беззольные фильтры «синяя лента», отделяли твердую (пылевую) фракцию, сформированную из нерастворимых в воде минеральных соединений и плавающих на поверхности хлопьев сажи (продукта неполного сгорания угля).

Содержание сажи ($C_{\text{орг}}$) или недожога угля в единице массы пыли (мг/кг) оценивали по потере абсолютно-сухой массы снеговой взвеси, задержанной на фильтре, после прокаливании при 800°C в течение получаса до полного сгорания «черного» углерода. Качественный анализ минеральных составляющих пыли, освобожденной от органического углерода, проводился на электронном микроскопе (Hitachi Science Systems Ltd «ТМ-1000», увеличение до 10000 раз). На атомно-абсорбционном спектрометре (Квант-АФА № 135) определялись содержания 10 тяжелых ме-

таллов (ТМ): Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu, Co, Mn, Ni, Fe. Масса органоминеральных частиц (ОМЧ) – ассоциации всех элементов пыли за исключением перечисленных ТМ – определялась по разнице массы пыли и валовых содержаний ТМ: $m_{\text{ОМЧ}} = m_{\text{пыли}} - \sum m_{\text{ТМ}}$.

Пробы СП отбирались с учетом геоморфологического строения котловины и особенностей застройки города; 3-летний мониторинг осуществлен в 26 точках, в девяти – 2-летний, в семи точках – годичный (в пяти точках пробы отбирались только в 2012 г., в двух точках – только в 2013 г. и только в 2014 г.). Исходя из розы ветров, рельефа местности и уровня загрязнения, авторами выделены три зоны: северная (правобережная), центральная и южная, разделяемые руслом р. Енисей, и второй линией, проведенной южнее на удалениях в 1.8–3.2 км от русла. Фоновый участок (точка отбора № 5) определен в восточной (наветренной) стороне, не подверженной антропогенной и/или техногенной нагрузке.

Степень накопления поллютанта-загрязнителя (ТМ, ОМЧ) в пыли/пылевой фракции (во взвеси) снеговой воды анализировалась по величине коэффициента концентрации: $K_c = C_i/C_f$, где C_i , C_f – концентрация загрязнителя в пыли СП в точках опробования и фоновой, мг/кг. Суммарное загрязнение снежного покрова Z_c , согласно руководству [9], рассчитывали по формуле

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

где n – количество поллютантов. Значения показателя Z_c по аналогии с подходами авторов [10], градуировали с выделением пяти уровней опасности загрязнения территории: *низкий* – относительно чистый и неопасный (< 32); *средний* – слабозагрязненный и умеренно опасный (32–64); *высокий* – загрязненный, опасный (64–128), *очень высокий* – очень загрязненный и очень опасный (128–256) и *максимально высокий* – чрезвычайно опасный (> 256).

Суммарную массу пыли, образующейся за счет минеральной золы и недожога угля и переходящей как в твердые продукты сжигания (золашлаки), так и в атмосферные загрязнители, оценивали расчетным путем по уравнению (2), выведенному из уравнения (3) при известных количествах сжигаемого угля ($m_{\text{угля}}$), его зольности ($v_{\text{мин.золы}}$), а также массовой доли сажи ($v_{\text{сажи}}$) в пыли, осевшей на снеговой покров:

$$m_{\text{пыли}} = v_{\text{мин.золы}} m_{\text{угля}} / (1 - v_{\text{сажи}}), \quad (2)$$

$$m_{\text{пыли}} = m_{\text{мин.золы}} + m_{\text{сажи}} = v_{\text{мин.золы}} m_{\text{угля}} + v_{\text{сажи}} m_{\text{пыли}}. \quad (3)$$

Таблица 1. Распределение направлений зимнего ветра в г. Кызыле, %

Направление ветра	2011– 12 гг.	2012– 13 гг.	2013– 14 гг.
С	18.7	6.4	33.1
СВ	33.6	12.8	26.3
В	37.4	35.9	13.6
ЮВ	1.9	2.6	1.7
Ю	1.9	7.7	5.9
ЮЗ	2.8	17.9	3.4
З	3.7	15.4	7.6
СЗ	0.0	1.3	8.5

Эколого-геохимическое картирование загрязнений СП пылевыми частицами (зольных элементов и недожога) проводилось с использованием ГИС-технологии, позволяющей объединять базу данных химического состава СП с пространственной базой картографических данных города в модуле Geostatistical Analyst [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Условия формирования снежного покрова.

Синоптическая ситуация в отопительные сезоны 2011/12, 2012/13, 2013/14 гг. отличалась не только интенсивностью выпадения осадков, но и длительностью периода сохранения СП от момента его образования до начала активного снеготаяния. Временной интервал между датой образования устойчивого СП и датой отбора проб составлял 113, 107 и 94 сут. при средней мощности снега 15.4; 25.0 и 17.3 см соответственно.

Ветровой режим в 2012 и 2013 гг. отвечал среднелетним показателям, более половины зимнего периода составляли штилевые сутки – 53 и 64% соответственно; в 2014 г. этот показатель

существенно сократился до 37%. Среднемесячная скорость ветра не превышала 1–2 м/с [4]; в 2012 г. преобладали ветра восточные и северо-восточные, в 2013 г. – восточные, юго-западные, в 2014 г. – северные и северо-восточные (табл. 1).

Основные загрязнители атмосферы возникают в дымовых выбросах, к их источникам относятся Кызылская ТЭС [8], 45 ведомственных производственно-отопительных и отопительных котельных [11], домашние печи, автотранспорт. Город отапливается каа-хемскими углями со средней зольностью 10–13% [13]; за три зимних месяца на Кызылской ТЭС сжигается угля в среднем ~90 тыс. т, в каждой крупной котельной (5 ед.) по ~150 т и малой котельной (40 ед.) по ~30 т, в каждой печи (более 11 тыс. домов) в среднем до 7 т угля. На 01.01.2012 в г. Кызыле и прилегающем п.г.т. Каа-Хем (по сведениям Управления МВД РФ по республике) общее количество автототранспортных средств составляло 38942, на 01.01.2013 г. – 40121, на 01.01.2014 г. – 34012 единиц. Некоторое (на 13%) снижение количества автотранспорта связано с реализацией программы утилизации «устаревших» машин. По данным «Тывастат», автотранспортом города в период декабрь-февраль потребляется в среднем 133 тыс. л бензина, дизтоплива – 23 тыс. л.

В последние годы, например в 2014 г., за 3-месячный зимний период подстилающая поверхность исследуемой территории испытывала нагрузку от сжигания в целом ~170 тыс. т угля в стационарных источниках (котлоагрегаты ТЭЦ, котельные и печи), в их числе сожжено угля на ТЭЦ ~90 тыс. т, в котельных предприятий ~2 тыс. т, в печах частного сектора ~77 тыс. т (табл. 2). Вклад разных видов источников в загрязнение среды, очевидно, определяется не только количеством сожженного топлива, но и другими факторами: наличием системы очистки дымовых газов, проведением

Таблица 2. Расчет выхода твердофазных отходов сжигания каа-хемских углей в г. Кызыле в период отопительного сезона 2013/2014 гг., тыс. т

Тип источника	Количество сжигаемого угля	Выход минеральной золы $m_{\text{мин.золы}} = v_{\text{мин.золы}} \cdot m_{\text{угля}}$	Выход пыли $m_{\text{пыли}} = \frac{v_{\text{мин.золы}} \cdot m_{\text{угля}}}{1 - v_{\text{сажи}}}$
ТЭЦ	90.00	9.00	10.23
Котельные:			
крупные (5 шт.)	0.75	0.08	0.28
малые (40 шт.)	1.20	0.12	0.44
Домашние печи, 11 тыс. шт.	77	7.70	20.81
Итого:	168.95	16.90	31.76

предварительной подготовки (дробления) угля, конструкцией котла/печи, режимом сжигания угля.

Минеральный состав пылевых частиц снежного покрова. На электронных снимках снеговой пыли (взвеси), прокаленной при температуре 800°C, обнаруживаются 9 макроэлементов: $O_{33.2} > Fe_{19.3} > Si_{12.3} > Al_{9.3} > Ca_{6.9} > Ba_{3.1} > Mg_{1.6}, Mn_{1.6} > S_{1.0}$, нижний индекс отражает средние содержания элемента в %; макроэлемент Sr не визуализировался из-за перекрытия спектральной области поглощения соответствующими пиками поглощений изоморфных кальция и бария. Представленный ряд макроэлементов снеговой пыли в целом коррелирует с составом золы каа-хемских углей с высокими содержаниями не только кремния и алюминия, но и железа (7–25%), кальция (13–19%) в пересчете на оксиды [17]. Наряду с макроэлементами, в количествах менее 1% обнаружены 23 микроэлемента: Na, K, Pb, As, Cd, Cu, Co, Ni, Ti, Zn, Zr, Ag, Bi, W, Ge, Se, Hg, La, P, $C_{неорг}$, S, Cl, N. Очевидно, с учетом присутствия в снеговой пыли и Sr, и $C_{орг}$ можно сделать заключение, что пылевая фракция СП г. Кызыла составлена из соединений 34 химических элементов преимущественно в оксидных формах, связанных с минеральными и органическими носителями.

Таким образом, анализ спектров/снимков поглощений показывает, что в пылевых загрязнениях снегового покрова идентифицируются все зольные элементы каа-хемских углей, включая летучую ртуть; именно из-за уникальной летучести ртуть не определяется в традиционных методах анализа золы угля. В пробах угольного пласта Улуг среднее содержание Hg составляет 0.07 г/т [3] при угольном кларке 0.1 ± 0.01 г/т. Ртуть обладает низкими температурами плавления (–38.9°C) и кипения (~357°C), высокой упругостью паров – 0.25 Па. Согласно литературным данным, независимо от конструкции котла и режима сжигания угля, ртуть практически нацело уходит из высокотемпературной зоны топки в газовую фазу [16, с. 335].

Представленные данные свидетельствуют о том, что в зимний период основные составляющие пылевого загрязнения СП г. Кызыла – твердофазные (пылевые) зольные уносы, отходящие в атмосферу с дымовыми выбросами каа-хемских углей.

Особенности накоплений пылевых загрязнений в снежном покрове. В табл. 3 представлены коэффициенты концентраций (K_c) 11 видов пылевых загрязнений, аккумулирующихся в снеговой взвеси: 10 тяжелых металлов (Pb, Cd, As, Hg, Zn,

Cu, Co, Mn, Ni, Fe) и органоминеральных частиц (ОМЧ). Под ОМЧ понимается часть пыли, в том числе с включениями сажи ($C_{орг}$), без учета суммарных содержаний перечисленных ТМ. Анализ количественной оценки превышений содержаний ОМЧ над их фоновыми значениями свидетельствует, что в 2014 г. наибольшая загрязненность наблюдалась в центральной зоне города, в ее пределах усредненный коэффициент концентрации ОМЧ превышал 100 и достиг значения 116.9 (в северной зоне $K_c = 56.0$, в южной – $K_c = 30.1$).

Среди перечисленных ТМ высокие значения накоплений отмечались у As (32.3; 66.3), Pb (26.1; 40.5), Mn (35.4; 42.1), Ni (14.0; 21.6), в скобках приведены усредненные значения их коэффициентов K_c в северной и центральной зонах. Список возглавляет мышьяк. В геохимии угольных элементов As относится ко второму (после ртути) токсичному элементу, из состава малосернистых углей он улетучивается практически полностью при температурах 400–800°C [16]. В малосернистых ($S_{общ}^d$ 0.5%) каа-хемских углях мышьяк находится преимущественно в форме, связанной с органическим углеродом ($As_{орг}$); в пласте Улуг среднее содержание As (14 г/т) выше его кларка для каменных углей (9 г/т). В уловленных золоуносах ТЭС мышьяк не обнаруживается; очевидно, в процессе сжигания угля он практически полностью улетучивается в составе дымовых выбросов в атмосферу, рассеивается и оседает на СП.

Большее загрязнение центральной зоны пылевыми поллютантами дымовых выбросов (ОМЧ и ТМ) объясняется наложением двух факторов. Первый связан с *ландшафтными особенностями*: зона расположена на самых низких уровнях межгорной котловины в окружении подножий пологих склонов, что приводит к большей, чем в соседних зонах, выраженности температурных инверсий, препятствующей рассеиванию и сносу выбросов. Второй – *со спецификой ее исторической застройки*: в восточной наветренной стороне расположена ТЭС, на западе – промышленные котельные, в центральной части – автономные котельные и печи домов, причем выбросы последних двух очистке не подвергаются. К тому же, в 2012–2014 гг. в центральной зоне на территории располагавшегося западнее ТЭЦ пустыря, было построено более 175 домов-особняков с автономным печным отоплением.

Содержание сажи ($C_{орг}$) в пылевых выбросах котельных в районе нефтебазы значительно, достигает 73% от общей массы пылевых частиц СП, вблизи застроек с печным отоплением (район кожзавода) – 63%, в дымовых выбросах ТЭС

Таблица 3. Распределение коэффициента концентрации поллютанта и показателя суммарного загрязнения твердой фракции СП г. Кызыла по зонам

Поллютант	Коэффициент концентрации поллютанта в СП, K_c^*											
	Северная зона				Центральная зона				Южная зона			
	2012 г.	2013 г.	2014 г.		2012 г.	2013 г.	2014 г.		2012 г.	2013 г.	2014 г.	
Pb	$\frac{1.4}{19.4} (7.3)$	$\frac{1.3}{40.8} (11.3)$	$\frac{9.5}{47.5} (26.1)$		$\frac{4.4}{46.6} (14.3)$	$\frac{10.0}{49.8} (34.1)$	$\frac{20.0}{89.0} (40.5)$		$\frac{1.3}{13.8} (5.5)$	$\frac{1.0}{12.8} (9.7)$	$\frac{9.5}{20.5} (16.6)$	
Cd	$\frac{1.1}{11.8} (4.8)$	$\frac{0.7}{26.3} (7.5)$	$\frac{4.0}{30.7} (12.8)$		$\frac{3.4}{13.9} (8.1)$	$\frac{5.0}{35.3} (23.1)$	$\frac{13.0}{32.0} (25.6)$		$\frac{1.4}{8.5} (4.0)$	$\frac{0.3}{9.0} (6.2)$	$\frac{4.0}{13.7} (10.5)$	
As	$\frac{1.1}{12.5} (5.5)$	$\frac{2.0}{80.0} (20.1)$	$\frac{9.0}{79.0} (32.3)$		$\frac{3.0}{24.5} (15.2)$	$\frac{12.0}{95.0} (62.5)$	$\frac{30.0}{84.5} (66.3)$		$\frac{1.4}{14.1} (5.6)$	$\frac{1.5}{25.0} (14.2)$	$\frac{9.5}{33.5} (24.6)$	
Hg	$\frac{1.0}{36.0} (11.0)$	$\frac{1.0}{20.0} (5.6)$	$\frac{4.3}{21.8} (9.6)$		$\frac{5.2}{33.0} (18.4)$	$\frac{4.0}{24.3} (16.5)$	$\frac{7.8}{23.0} (17.4)$		$\frac{1.8}{22.0} (8.3)$	$\frac{1.0}{6.3} (4.3)$	$\frac{4.3}{8.3} (7.1)$	
Zn	$\frac{1.2}{26.3} (9.5)$	$\frac{1.1}{20.8} (5.2)$	$\frac{3.7}{25.1} (12.3)$		$\frac{4.5}{29.7} (16.6)$	$\frac{3.8}{27.5} (16.8)$	$\frac{7.7}{24.9} (17.3)$		$\frac{1.7}{21.7} (7.1)$	$\frac{1.0}{4.7} (3.7)$	$\frac{3.8}{10.0} (6.8)$	
Cu	$\frac{1.1}{14.7} (6.8)$	$\frac{0.8}{18.3} (5.6)$	$\frac{3.7}{19.8} (9.3)$		$\frac{5.4}{15.9} (10.9)$	$\frac{5.0}{23.0} (15.6)$	$\frac{12.0}{24.2} (17.4)$		$\frac{1.5}{11.5} (5.6)$	$\frac{0.8}{7.3} (5.1)$	$\frac{4.0}{16.2} (10.6)$	
Co	$\frac{1.2}{19.6} (9.1)$	$\frac{0.9}{27.7} (8.0)$	$\frac{4.6}{28.7} (12.9)$		$\frac{5.2}{25.3} (15.1)$	$\frac{7.3}{41.4} (24.4)$	$\frac{15.1}{28.4} (24.4)$		$\frac{1.6}{18.7} (7.2)$	$\frac{0.9}{9.6} (7.4)$	$\frac{4.9}{19.6} (12.9)$	
Mn	$\frac{1.2}{24.0} (9.0)$	$\frac{1.5}{47.3} (12.2)$	$\frac{10.2}{100.0} (35.4)$		$\frac{4.8}{29.9} (18.7)$	$\frac{9.2}{52.2} (36.5)$	$\frac{18.7}{71.3} (42.1)$		$\frac{1.7}{22.4} (9.0)$	$\frac{1.2}{12.0} (9.2)$	$\frac{10.0}{21.5} (16.2)$	
Ni	$\frac{1.1}{10.2} (4.7)$	$\frac{1.1}{24.0} (7.5)$	$\frac{4.0}{24.5} (14.0)$		$\frac{2.5}{12.8} (7.6)$	$\frac{6.7}{27.2} (19.8)$	$\frac{13.4}{26.3} (21.6)$		$\frac{1.3}{8.9} (4.1)$	$\frac{0.9}{8.1} (6.4)$	$\frac{4.3}{17.3} (11.4)$	
Fe	$\frac{1.1}{5.2} (2.8)$	$\frac{1.1}{8.8} (3.2)$	$\frac{3.0}{8.7} (4.8)$		$\frac{1.9}{5.4} (4.1)$	$\frac{3.0}{9.8} (7.3)$	$\frac{4.3}{9.5} (7.6)$		$\frac{1.1}{5.5} (3.1)$	$\frac{1.1}{3.7} (3.0)$	$\frac{3.0}{4.3} (4.1)$	
ОМЧ**	$\frac{0.2}{6.4} (1.6)$	$\frac{1.0}{111.0} (24.3)$	$\frac{10.7}{190.7} (56.0)$		$\frac{2.2}{12.6} (8.8)$	$\frac{11.7}{270.0} (107.5)$	$\frac{35.3}{316.0} (116.9)$		$\frac{0.5}{4.0} (2.1)$	$\frac{1.0}{20.3} (13.6)$	$\frac{11.3}{45.7} (30.1)$	
Показатель суммарного загрязнения снежного покрова, Z_c												
	$\frac{1.7}{159.6} (62.4)$	$\frac{2.4}{420.0} (101.7)$	$\frac{65.3}{436.9} (191.5)$		$\frac{32.3}{211.1} (127.9)$	$\frac{68.0}{655.8} (359.2)$	$\frac{169.3}{734.8} (392.5)$		$\frac{7.2}{136.2} (51.6)$	$\frac{0.7}{101.6} (73.3)$	$\frac{58.9}{199.4} (142.2)$	

* В числителе – минимальное, в знаменателе – максимальное, в скобках – среднее значение K_c .

** ОМЧ – органические минеральные частицы.

[13] среднее содержание сажи 12% от массы уловленных золоуносов. В пылевых выбросах автотранспорта (т.о. № 2 возле автомагистрали Кызыл–Абакан на расстоянии 5 м от асфальтированного покрова) сажи 18%, что в 4 раза меньше соответствующего показателя в выбросах котельных, но в 1.5 раза превышает его в выбросах ТЭС. Поскольку содержание сажи в пылевых частицах снега промзоны и частного сектора превышает 60%, можно сделать вывод, что более $\frac{2}{3}$ пылевых выбросов производственно-отопительных котельных и домашних печей состоят из сажи – недожога угля.

В исследованный период в разных кварталах города загрязненность СП органоминеральными частицами возросла. Коэффициент накопления ОМЧ повысился в северной зоне в 35 раз ($K_{c,2014}/K_{c,2012} = 35$), в центральной зоне $K_{c,2014}/K_{c,2012} = 13$ и в южной $K_{c,2014}/K_{c,2012} = 14$. Наибольшее увеличение загрязнения наблюдалось в ранее относительно чистой северной правобережной зоне. Возрастание темпа загрязнения города, вероятно, связано с расширением частного сектора с печным отоплением, во многих особняках имеются гараж, баня, домик-временка и даже теплица. В исследованный период в городе в целом построено более 305 частных особняков, в том числе в центральной зоне >175, в северной зоне >80, в южной зоне >50.

Согласно данным мониторинга, в период 2012–2014 гг. ежегодно наблюдалось увеличение выбросов зольных элементов углей, аккумулирующихся и в пылевой, и в талой фракциях СП г. Кызыла и пригорода (табл. 4). Если в 2012 г. на исследуемой территории ($S \approx 263 \text{ км}^2$) нагрузка от пылевых частиц, осевших из дымовых выбросов каа-хемских углей, составляла 0.6 тыс. т, то в 2014 г. она возросла до 1.5 тыс. т. Нагрузка от общей минерализации талых фракций снега (суммарных содержаний растворимых солей) [12] также возрастала с 0.04 до 0.38 тыс. тонн. В зимний сезон 2013/2014 гг. суммарная нагрузка пылевых (нерастворимых) и растворимых форм загрязнений СП составила 1.92 тыс. т, в их числе от пыли – 1.54 тыс. т. Сопоставим эти данные с литературными.

По информации [8], составленной на основе данных статистической отчетности 111 предприятий (форма № 2-ТП – воздух) и трех стационарных постов (Сети государственной службы наблюдений), в 2009 г. общее количество твердых выбросов в целом по Кызылу составило 3.612 тыс. т/год. По результатам мониторинга СП, пылевая нагрузка за три холодных месяца 2011/2012 гг. составля-

ла 0.58 тыс. т (см. табл. 4), это меньше литературного показателя 0.903 тыс. т, приведенного к зимнему кварталу при допущении равномерности поступления твердых выбросов в течение всего года (зимой город загрязняется преимущественно техногенной пылью, а летом – природной). Однако в 2013 г. объем пылевых выбросов (1.04 тыс. т) стал соизмерим с показателем в [8], а в 2014 г. превысил его (1.54 тыс. т), очевидно, за счет увеличения количества печей и автономных котельных (не оборудованных системами очистки), в них сжигалась почти половина использованного в городе угля (~79 тыс. т, или 47%) (см. табл. 2).

В общей массе пылевых частиц, формирующихся при сжигании угля, часть улавливается в системах очистки (при их наличии) и вместе с твердыми продуктами отводится в виде золошлаковых отходов, другая часть поступает в атмосферу и оседает на подстилающую поверхность. Суммарное количество пылевых продуктов углесжигания можно оценить расчетным путем по уравнениям (2) и (3), если известны количество сжигаемого угля ($m_{\text{угля}}$), зольность угля ($v_{\text{мин.зола}}$) и массовая доля сажи в снеговой пыли/взвеси ($v_{\text{сажи}}$). По нашим оценкам в 2014 г. в трехмесячный период устойчивого СП в г. Кызыле в целом было сожжено ~170 тыс. т угля (см. табл. 2), суммарная масса твердых продуктов сжигания (уловленных золошлаков + выбросов мелкодисперсной пыли) составила 31.76 тыс. т, в том числе на ТЭЦ 10.23 тыс. т. Доля мелкодисперсных частиц золы, осевших на СП в растворимой и нерастворимых формах, в суммарной массе твердых продуктов сжигания угля составляла лишь 6%. Очевидно, именно мелкодисперсные частицы дымовых выбросов обуславливают появление значительных накоплений зольных элементов в СП г. Кызыла.

Поскольку система очистки ТЭЦ утилизирует 93% пылевых частиц в виде золошлаков [8], от ТЭЦ в атмосферу выбрасывается лишь 7% высокодисперсной пыли (от общей массы твердых продуктов ТЭЦ) в количестве 0.72 тыс. т. В суммарной массе зольных загрязнений СП (1.92 тыс. т, см. табл. 4) вклад мелкодисперсной пыли ТЭЦ составляет 37.5%. Согласно [8], в 2009 г. доля ТЭЦ в общем количестве твердых выбросов оценивалась в 39%.

Динамика выбросов загрязнителей-металлов в мониторинговых точках показана на рис. 1 (на примере свинца). Как видно, среднесуточная концентрация Pb в пыли, поглощенной кубометром снежного покрова, в разных участках города

Таблица 4. Суммарная нагрузка зольных элементов на снежный покров территории г. Кызыла и его пригорода ($S = 263 \text{ км}^2$)

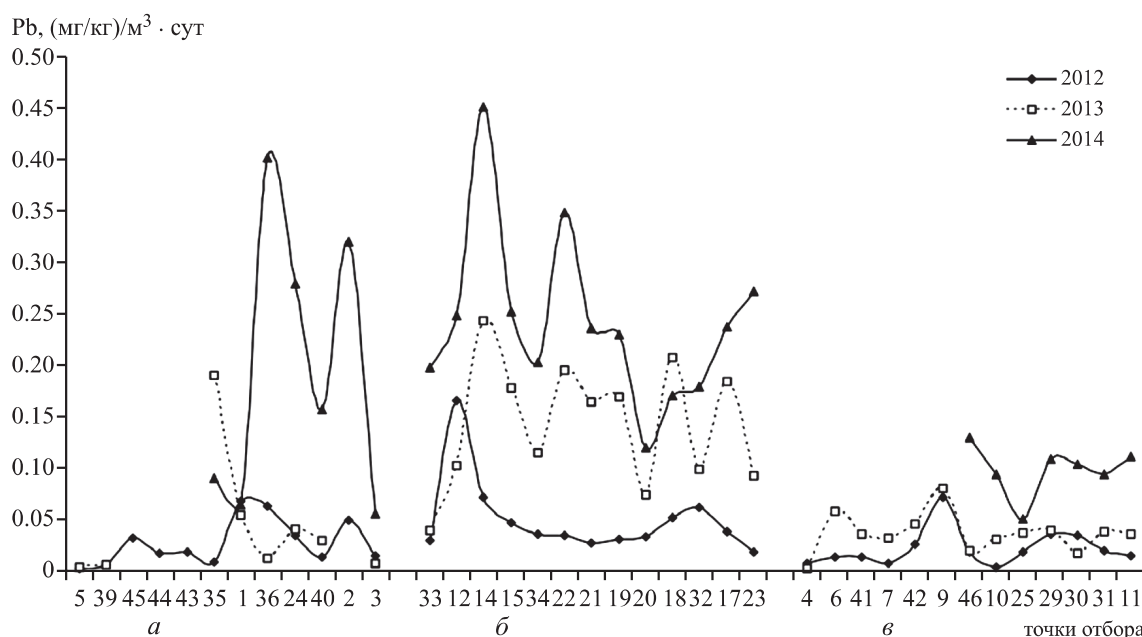
Год	Среднее содержание пыли в снеге, кг/м^3	Суммарное содержание зольных элементов в СП, тыс. т		
		в талой фракции [12]	в твердой фракции	суммарное
2012	2.203	0.04	0.58	0.62
2013	3.971	0.22	1.04	1.26
2014	5.864	0.38	1.54	1.92

изменялась в пределах $0.003\text{--}0.451 \text{ мг/кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$. В 2014 г. среднесуточные выбросы Pb в северной зоне увеличились значительно (мах 0.401 мг/кг) и стали соизмеримыми с таковыми в центральной зоне (мах 0.451 мг/кг). Пространственные распределения тяжелых металлов коррелируют между собой, максимальные выбросы каждого из них отмечаются в одних и тех же участках (рис. 2), перечислим их. В *центральной зоне* – округ Кызылской ТЭС с массивом домов с печным отоплением (т.о. № 14), район частного сектора на пересечении ул. Рабочая и Шевченко (т.о. № 22), район школы искусств со стороны ул. Рабочая (т.о. № 19), район телецентра (т.о. № 18) и промышленный квартал (т.о. № 23). В *северной (правобережной) зоне* замечен рост выбросов в районе новостроек, возведенных восточнее от смотровой площадки (т.о. № 36). В *южной зоне* загрязнения увеличились в районе агрофакультета ТувГУ, застраиваемого частным

сектором (т.о. № 31), вблизи новых коттеджей по дороге на Бай-Хак (т.о. № 29 и № 30).

Оценка суммарного загрязнения снежного покрова. Средние величины Z_c , суммарных загрязнений нерастворимой фракции СП, приведены в табл. 3. Видно, что в 2012, 2013, 2014 гг. усредненный показатель Z_c повышался, его значения в северной зоне города составили 62; 102; 192, в центральной зоне – 128; 359; 392, в южной зоне – 52; 73; 142 соответственно. Приведенные данные указывают на рост загрязнения в северной и южной зонах с уровня *средний* (умеренно опасный) через *высокий* (опасный) до уровня *очень высокий* (очень опасный). В центральной зоне загрязнение усилилось с *высокого* (опасного) уровня до *максимально высокого* (максимально опасного) уровня.

На основе наложения данных мониторинга СП на базу картографических данных г. Кызыла

**Рис. 1.** Пространственное распределение среднесуточных концентраций Pb в толще снежного покрова г. Кызыла по годам и мониторинговым точкам; а, б, в – северная, центральная и южная зоны территории соответственно.

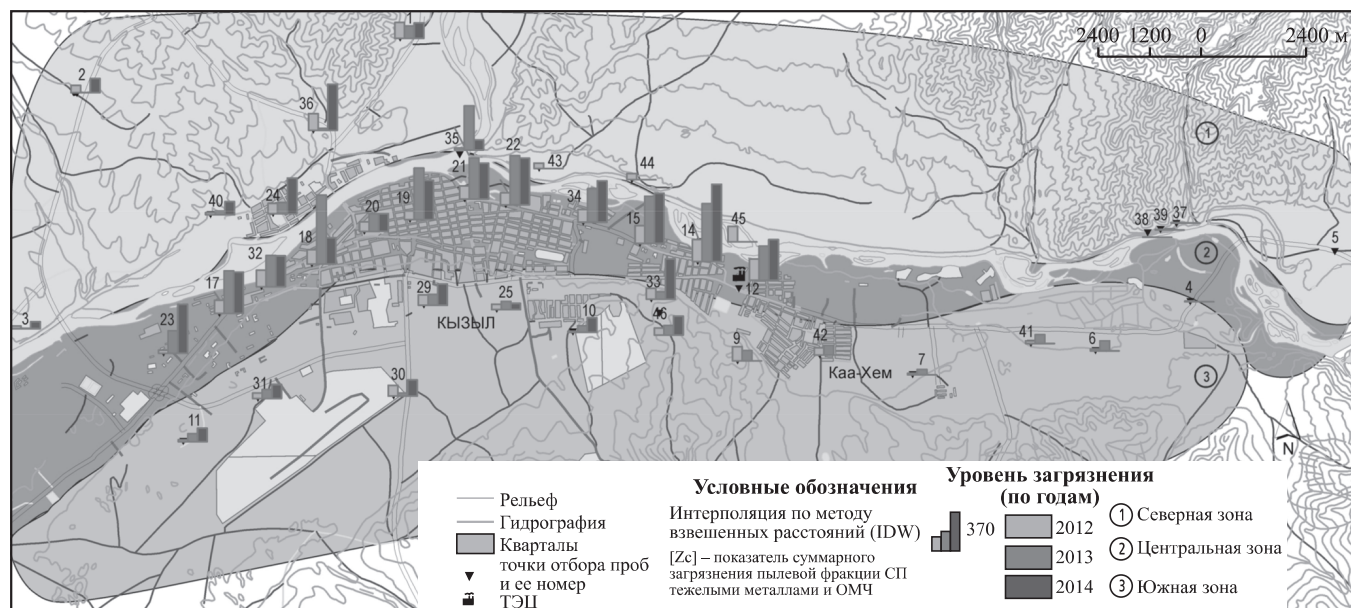


Рис. 2. Картосхема уровней загрязнения снежного покрова г. Кызыла пылевыми частицами по зонам и мониторинговым участкам в 2012–2014 гг.

с использованием ГИС-технологий [2] построены карты выбросов исследованных поллютантов, по аналогии с экологическими картами г. Королева [15]. На рис. 2 представлена картосхема показателя суммарного загрязнения снежного покрова г. Кызыла по зонам и мониторинговым участкам в 2012–2014 гг. Характер изменения диаграмм подтверждает, *во-первых*, заметный рост загрязнений в северной и южной зонах города в кварталах с печным отоплением; *во-вторых*, иллюстрирует повышение уровня загрязнения в восточной части центральной зоны, обусловленного застройкой ранее пустовавших земель, и сохранение высокого уровня загрязнения на всей протяженной территории зоны при передвижении в западном направлении.

Нельзя не заметить существенного снижения суммарного загрязнения СП пылевыми частицами на одном из участков центральной зоны – в т.о. № 18: если в 2013 г. параметр $Z_c = 656$, то в 2014 г. он уменьшился в 2.6 раза ($Z_c = 250$). В этом случае снижение загрязнения было связано с заменой водогрейного котла в ООО «Кайлас» на новый смоделированный на самом предприятии энергоэффективный котел с самотечной трубчатой конструкцией (марка «Енисей ТГУ-1», свидетельство регистрации секрета «ноу-хау» выдано ТувГУ в 2015 г.). В предприятии с введением в эксплуатацию нового котла закладка топлива стала нечастой, и потребление угля снизилось со 150 до 50 т, цвет дымовых выбросов котельной изменился с практически черных тонов на более освет-

ленные. В результате суммарное загрязнение СП в округе, несмотря на работу котельных соседних предприятий, снизилось с уровня *максимально высокого и чрезвычайно опасного* на одну позицию ниже до уровня *очень высокого, очень опасного*. Полученные данные подтверждают наличие явной зависимости объемов пылевых выбросов от конструкций топочных камер, от количества сжигаемого угля и режима его сжигания.

На рис. 3 представлены изолинии суммарных загрязнений пылевой фракции СП тяжелыми металлами и органоминеральными частицами в 2013 и 2014 годах. Как видно, видоизменение границ изолиний согласуется прежде всего с проявлявшейся розой ветров, в 2013 г. господствовали восточные и юго-западные ветры, в 2014 г. – северные и северо-восточные (см. табл. 1). К другим факторам, влиявшим на значение уровней и форм изолиний, относились объемы выбросов загрязнений, тип источников выбросов и их местоположение, рельеф местности.

В 2013 г. основная часть территории города была окольцована изолинией суммарных загрязнений снега со значением $Z_c = 128$, соответствующему уровню загрязнения *высокий и опасный*, внутри кольца имелись локальные участки с *очень высоким* (очень опасным) и даже *максимально высоким* (чрезвычайно опасным) уровнями загрязнения.

В 2014 г. уровень загрязнения города в целом повысился: почти все кварталы жилого сектора

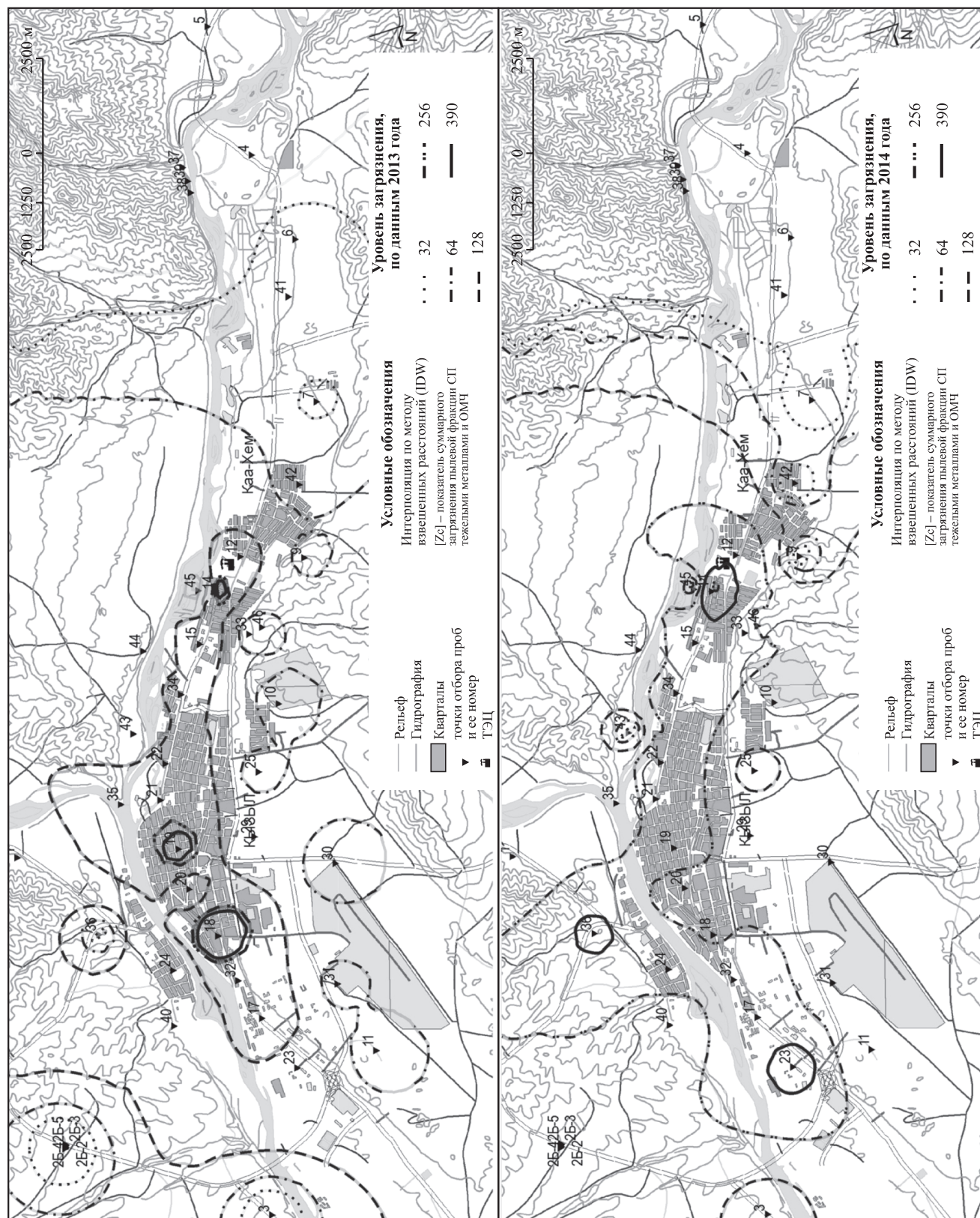


Рис. 3. Изолинии суммарных загрязнений снежного покрова г. Кызыла пылевыми частицами в 2013, 2014 гг.

в центральной и правобережной зонах попадали внутрь теперь уже изолинии $Z_c = 256$ с *очень высоким* и *очень опасным* уровнем. Внутри зоны сохранились источники выбросов локальных загрязнений с *максимально высокими* опасными уровнями ($Z_c = 390$), к ним относится участок т.о. № 14, примыкающий к ТЭЦ с запада, смотровая площадка на правом берегу вблизи т.о. № 36, западная окраина промзоны вблизи т.о. № 3. Одновременно с повышением уровня загрязнения расширялся его шлейф, поэтому в близлежащих незаселенных территориях пригорода загрязненность повысилась до *высокого* уровня (изолиния $Z_c = 128$).

Представленные результаты свидетельствуют о проявлении устойчивой тенденции к ухудшению экологии г. Кызыла по выбросам загрязнений в зимний период. Особенно высоки выбросы мелкодисперсной пыли с включениями сажи от печного отопления и производственных автономных котельных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что источниками пылевого загрязнения снежного покрова (СП) являются дымовые выбросы угольного топлива. Более двух третей пылевых выбросов производственно-отопительных котельных и домашних печей представлены сажой – недожогом угля.

Установлен минеральный состав пылевых загрязнений СП г. Кызыла, содержания макроэлементов в пыли соответствуют ряду углефилльности зольных элементов каа-хемских углей: $O_{33.2} > Fe_{19.3} > Si_{12.3} > Al_{9.3} > Ca_{6.9} > Ba_{3.1} > Mg_{1.6}, Mn_{1.6} > S_{1.0}$, другие элементы (Na, K, Pb, As, Cd, Cu, Co, Ni, Ti, Zn, Zr, Ag, Bi, W, Ge, Ce, Hg, La, P, $C_{неорг}$, S, Cl, N) содержатся в количествах $< 1\%$. В целом (с учетом присутствия Sr и $C_{орг}$) химический состав пыли сформирован из соединений 34 химических элементов преимущественно в оксидных формах, связанных с минеральными и органическими носителями.

Максимальны загрязнения центральной зоны г. Кызыла, в 2014 г. в ее пределах усредненный коэффициент концентрации ОМЧ в снеге составлял $K_c = 116.9$ (в северной зоне $K_c = 56.0$, в южной $K_c = 30.1$); высокие значения накоплений отмечены у металлов – As, Pb, Mn, Ni ($K_c = 22\div 66$). Высокая степень загрязненности СП центральной зоны города объясняется, *во-первых*, влиянием ландшафтных особенностей: зона расположена на самых низких точках межгорной котловины

в окружении подножий пологих склонов, в которых значительна выраженность температурных инверсий, препятствующих рассеиванию и сносу выбросов; *во-вторых*, спецификой исторической застройки: в восточной наветренной стороне зоны расположена ТЭС, в западной части – промышленные котельные, в центре – автономные котельные и печи частных домовладений.

Проведено картирование содержаний поллютантов снегового покрова г. Кызыла, выявлены районы локальных загрязнений. Пространственные размещения выбросов десяти поллютантов (Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu, Co, Mn, Ni, Fe) коррелируют между собой и с выбросами органических частиц пыли. На картах загрязнений наглядно зафиксированы увеличения объемов их выбросов. Так, в 2013 г. основная часть города по суммарным загрязнениям твердой фракции снега была окольцована изолинией со значением $Z_c = 128$, соответствующим уровню загрязнения *высокий* и *опасный*, а в 2014 г. этот параметр повысился до уровня загрязнения *очень высокий* и *очень опасный*, $Z_c = 256$.

Отмечена зависимость между темпами роста загрязнений и расширением частного сектора, увеличением объемов сжигания угля, числа печей, автономных котельных. Результаты мониторинга загрязнения СП свидетельствуют об ухудшении экологии г. Кызыла в зимний период при сохранении существующей системы его теплообеспечения. Показатели содержаний пылевых поллютантов в СП в конкретных участках города (вблизи ТЭЦ, автономных котельных и в частном секторе) могут стать одним из главных оснований для принятия технологических решений по модернизации топливного комплекса города.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-45-04145-р_сибирь_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ArcGIS9 Geostatistical Analyst. Руководство пользователя Copyright 2001 ESRI All Rights Reserved. Russian Translation by DATA+, Ltd. 278 с.
2. Андрейчик М. Ф., Чуликова С. А. Использование ГИС-технологий при разработке электронных карт распределения атмосферных осадков тувинской горной области // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 3. С. 166–170.
3. Быкадоров В. С., Вялов В. И., Подкаменный А. А., Шибанов В. И. Улугхемский бассейн и другие бассейны Республики Тыва // Угольная база России. Т. III. Угольные бассейны и месторождения Восточ-

ной Сибири. Южная часть. М.: ООО «Геоинформ-марк», 2002. С. 270–363.

4. Дневник погоды в Кызыле за 2011–2014 годы. [Электронный ресурс] <http://www.gismeteo.ru/city/daily/5189/>
5. Лебедев Н. И. Угли Тувы: состояние и перспективы освоения сырьевой базы. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2007. 180 с.
6. Миронов К. В. Справочник геолога-угольщика. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1991. 363 с.
7. Онучин А.А., Буренина Т.А., Зубарева О.Н., Трефилова О.В., Данилова И.В. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 1025–1037.
8. О государственном докладе о состоянии окружающей среды Республики Тыва в 2009 году / Постановление Правительства Республики Тыва от 15.12.2010. № 570. [Электронный ресурс]: <http://gov.tuva.ru/content/1418>
9. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 693 с.
10. Сорокина О.И., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажа С.Н., Доржготов Д., Анг-Амгалан С. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 159–170.
11. Схема теплоснабжения городского округа «Город Кызыл Республики Тыва» на период до 2028 г. (актуализация на 2015 г.). Новосибирск: проект СИБГИПРОКОММУНЭНЕРГО, 2014. [Электронный ресурс] http://mkyzyl.ru/about/info/news/5604/?sphrase_id=4439113
12. Тас-оол Л.Х., Янчат Н.Н., Жданок А.И., Чупивокка С.А. Загрязнение снежного покрова г. Кызыла // Геоэкология. 2014. № 6. С. 507–517.
13. Тас-оол Л.Х., Янчат Н.Н., Аракчаа К.Д. О распределении главных неорганических элементов каа-хемских углей в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Кызыл // Химия тв. топлива. 2012. № 5. С. 46–51.
14. Шумилова М.Ф., Садиуллина О.В., Петров В.Г. Исследование процесса накопления загрязняющих веществ городской атмосферы в снежном покрове на примере г. Ижевска // Вестн. Удмурт. ун-та. Физика. Химия. 2012. № 3. С. 87–93.
15. Экологические карты города Королев. Карта загрязнения почвы тяжелыми металлами. [Электронный ресурс] http://www.geokorolev.ru/ecology_blanketsnow.html
16. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 656 с.
17. Янчат Н.Н., Тас-оол Л.Х. О корреляционных соотношениях минералогических компонентов в золе углей Каа-Хемского месторождения // Химия тв. топлива. 2008. № 4. С. 54–60.

REFERENCES

1. ArcGIS9 Geostatistical Analyst. *Rukovodstvo polzovatelia Copyright* [Copyright user manual] 2001 ESRI All Rights Reserved. Russian Translation by DATA+, Ltd.– 278 p. (in Russian).
2. Andreichik, M.F., Chupikova, S. A. *Ispolzovanie Gistekhnologii pri razrabotke elektronnykh kart raspredeleniya atmosferykh osadkov tuvinskoi gornoj oblasti* [GIS technology use in the development of electronic maps of distribution of precipitation of the Tuva mountain region]. *Interespo Geo-Sibir*, 2012, vol. 3, pp. 160–170 (in Russian).
3. Bykadorov, V.S., Vyalov, V.I., Podkamennyi, A.A., Shibanov, V.I. [Ulug-Khem basin and other basins in the Tuva Republic]. *Ugolnaya baza Rossii. T. III. Ugolnye basseiny i mestorozhdeniya Vostochnoi Sibiri. Yuzhnaya chast* [The coal base of Russia. vol. III. Coal basins and deposits of Eastern Siberia. The southern part]. Moscow: ООО «Geoinformmark» publ., 2002, pp. 270–363 (in Russian).
4. *Dnevnik pogody v Kyzyle za 2011–2014 gody*. [The weather diary of Kyzyl in 2011–2014]. Available at: <http://www.gismeteo.ru/city/daily/5189/>
5. Lebedev, N. I. *Ugli Tuvy: sostoyanie i perspektivy osvoeniya syrevoi bazy* [Tuva coals: the state of and prospects for the development of the raw material base]. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2007, 180 p. (in Russian).
6. Mironov, K. V. *Spravochnik geologa-ugol'shchika* [Geologist collier's guide]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 363 p. (in Russian).
7. Onuchin, A.A., Burenina, T.A., Zubareva, O.N., Trefilova, O.V., Danilova, I. V. *Zagryaznenie snezhnogo pokrova v zone vozeistviya predpriyatii Noril'skogo promyshlennogo raiona* [The pollution of snow cover in the influence zone of the enterprises of Norilsk industrial region]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2014, no. 6, pp. 1025–1037 (in Russian).
8. *O gosudarstvennom doklade o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Tyva v 2009 godu / Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Tyva ot 15.12. 2010. № 570* [On the state report on the state of environment of the Tuva Republic in 2009. / Decree of the Government of the Tuva Republic of 15 December 2010. No. 570]. Available at: <http://docs.pravo.ru/document/view/15664986>
9. *RD52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery* [Governing document 52.04.186-89. Guide to the control of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1991, 693 p. (in Russian).
10. Sorokina, O.I., Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S., Golovanov, D.L., Bazha, S.N., Dorzhgotov, D., Eng-Amgалан, S. *Tyazhelye metally v vozdukh i snezhnom pokrove Ulan-Batora* [Heavy metals in the air and the snow cover of Ulan Bator]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2013, no. 3, pp. 159–170 (in Russian).
11. *Skhema teplosnabzheniya gorodskogo okruga «Gorod Kyzyl Respubliki Tyva» na period do 2028 g. (aktual-*

- izatciya na 2015 g.). Novosibirsk: proekt SIBGIPRO-KOMMUNENERGO, 2014 [The scheme of heat supply of Kyzyl, Tuva Republic to 2028 (updating for 2015). Novosibirsk: SIBGIPROKOMMUNENERGO project, 2014]. Available at: <http://www.mkyzyl.ru/documents/>
12. Tas-ool, L. Kh., Yanchat, N.N., Zhdanok, A.I., Chupikova, S. A. *Zagryaznenie snezhnogo pokrova g. Kyzyla* [The contamination of snow cover in Kyzyl]. *Geoekologiya*, 2014, no. 6, pp. 507–517 (in Russian).
 13. Tas-ool, L. Kh., Yanchat, N.N., Arakchaa, K.D. *O raspredelenii glavnykh neorganicheskikh elementov Kaa-khemskikh uglei v zoloshlakovykh otkhodakh TETC g. Kyzyl* [The distribution of the main inorganic elements of the Kaa-hem coal in ash waste from Kyzyl thermal power station]. *Khimiya tverdogo topliva*, 2012, no. 5, pp. 46–51 (in Russian).
 14. Shumilova, M.F., Sadiullina, O.V., Petrov, V. G. *Issledovanie protessa nakopleniya zagryaznyayushchikh veshchestv gorodskoi atmosfery v snezhnom pokrove na primere g. Izhevsk* [The study of accumulation process of pollutants from the urban atmosphere in the snow cover by the example of Izhevsk]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Fizika. Khimiya*, 2012, no. 3, pp. 87–93 (in Russian).
 15. *Ekologicheskie karty goroda Korolev. Karta zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami* [Environmental map of Korolev city. Map of soil contamination by heavy metals]. Available at: http://www.geokorolev.ru/ecology_contamination.html
 16. Yudovich, Ya.E., Ketris, M. P. *Toksichnye elementy primesi v iskopaemykh uglyakh* [Toxic elements in fossil coals]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2005, 656 p. (in Russian).
 17. Yanchat, N.N., Tas-ool, L. Kh. *O korrelyatsionnykh sootnosheniyakh mineralogicheskikh komponentov v zole uglei Kaa-Hemskogo mestorozhdeniya* [Correlative proportions of the mineralogical components in the ash of coal of the Kaa-Khem deposit]. *Khimiya tverdogo topliva*, 2008, no. 4, pp. 54–60 (in Russian).

GEOCHEMICAL ASPECTS OF ENVIRONMENT CONTAMINATION IN KYZYL TOWN WITH DUST PARTICLES OF SMOKE EMISSIONS

L. Kh. Tas-ool*, B. G. Khomushku, S. A. Chupikova*, N. N. Yanchat***

* *Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, ul. Internatsional'naya 117a, Kyzyl, Tuva Republic, 667007 Russia.*

E-mail: tikopr@mail.ru

** *Tuvan State University, ul. Lenina 36, Kyzyl, Tuva Republic, 667000 Russia.*

E-mail: tgu@tuvsu.ru

Monitoring of insoluble pollution of snow cover (SC) in the Kyzyl in 2012–2014 was carried out. Soot content in the composition of organomineral particles was determined according to the loss of absolute dry mass of the detainee precipitate on the filter at heating of 800°C. Heavy metals content was determined by atomic absorption spectrometry. Elemental composition of mineral dust was investigated by electron microscopy.

The mineral composition of the main elements of SC reflects a coalification of ash constituents of Kaa-hem coal and fits the succession: $O_{33.2} > Fe_{19.3} > Si_{12.3} > Al_{9.3} > Ca_{6.9} > Ba_{3.1} > Mg_{1.6}, Mn_{1.6} > S_{1.0}$ (the lower index designates the average content of element in%); other elements (Na, K, Pb, As, Cd, Cu, Co, Ni, Ti, Zn, Zr, Ag, Bi, W, Ge, Ce, Hg, La, P, C_{inorg} , S, Cl, N) are contained in amounts less than 1%.

Relative accumulation of ten heavy metals (Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu, Co, Mn, Ni, Fe) and remaining total mass of other organomineral components were calculated. It was revealed that sources of dust pollution of the snow cover are smoke emissions of coal fuel. Soot content (unburnt coal) in dust particles of the snow cover in the industrial sector reaches 73% of the total mass of suspended particles. The proportion of carbonic soot from the emissions of stoves is also high (63%). Emissions of soot from the thermal power plant are insignificant, about 12% by mass of fly ash.

169 thousand tons of coal burnt on the territory of the city in 2014, whereas the organomineral waste amounted to 32 thousand tons. The comparison of the calculated volumes of solid emissions with data of total load of TMC (total microbial count) on snow cover (1,92 tons) shows that about 6% of organic particles from the total mass of solid waste incineration settles from the atmosphere to the snow cover.

The schematic map of dust-particle distribution was built. The tendency is revealed to aggravating ecological situation in the city while maintaining the existing scheme of heat supply. The index of total pollution of snow cover by dusty particles varies in the range of 52–593; and the bulk of the dusty aerosols are deposited in the central zone of the city.

Keywords: *snow cover, smoke emissions, organomineral particles, soot, heavy metals.*