

Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения

Н.А. Осипова, доцент, канд. хим. наук¹

Е.Г. Языков, заведующий кафедрой, профессор, д-р геол.-мин. наук¹

Н.П. Тарасова, директор института, заведующий кафедрой, чл.-кор. РАН, профессор, д-р хим. наук²

К.Ю. Осипов, старший научный сотрудник, канд. техн. наук³

¹Томский политехнический университет,

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

e-mail: osipova@tpu.ru

Ключевые слова:

тяжелые металлы,
геохимия почв,
риск для здоровья,
химическое воздействие,
влияние угольной промышленности.

Изучено содержание тяжелых металлов в городских почвах Южного Кузбасса в районах влияния угледобывающей промышленности и городских котельных. Выявлены риски токсического воздействия элементов, обнаруженных в почвах по результатам геохимических исследований (200 проб). Рассчитан коэффициент опасности при передаче элементов-токсикантов пероральным и ингаляционным путем. Проведен анализ неопределенности в оценке среднесуточных доз. Полученные параметры риска попадают в разряд допустимого или приемлемого. Основной вклад в суммарный коэффициент опасности вносят марганец, кобальт, медь, мышьяк. Эти элементы отражают специфику почв в зоне воздействия угледобывающей промышленности, городских котельных, – повсеместно, и деятельность ремонтно-механического и литейного предприятий – локально. Не обнаружено ярко выраженной дифференциации районов города по значению коэффициента опасности.

1. Введение

Подходы к решению проблем химического загрязнения компонентов природных сред находят свое отражение в документах Конференции ООН по устойчивому развитию «РИО+20», 2012 [1] и сформулированных целях устойчивого развития специально созданной рабочей группой [2]. В частности, цель 3 «Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте» в части п. 3.9 прямо связана с опасным химическим воздействием и указывает на необходимость к 2030 году существенно сократить число случаев смерти и заболеваний в результате воздействия опасных химических веществ и загрязнения воздуха, воды и почв.

Загрязнение всех компонентов природных сред вредными веществами в районах интенсивной добычи и переработки угля является серьезной экологической

проблемой для населения близлежащих городов. К таким городам относится г. Междуреченск Кемеровской области. Город расположен в центральной части Томусинского каменноугольного месторождения в месте слияния рек Томь и Уса в зоне их выхода из гор Кузнецкого Алатау в Кузнецкую низкогорно-холмистую котловину (рис. 1). Изучению влияния угольных предприятий на здоровье населения, экологическим проблемам Междуреченска посвящено множество исследований [3–5].

Угольные предприятия располагаются на правом и левом берегах р. Уса и р. Томь в 5–20 км от черты города. Здесь расположены шахты и угольные разрезы, которые находятся в непосредственной близости от городской черты. На угольных разрезах круглосуточно ведутся выемочно-погрузочные и буровые работы, а также один раз в неделю производятся

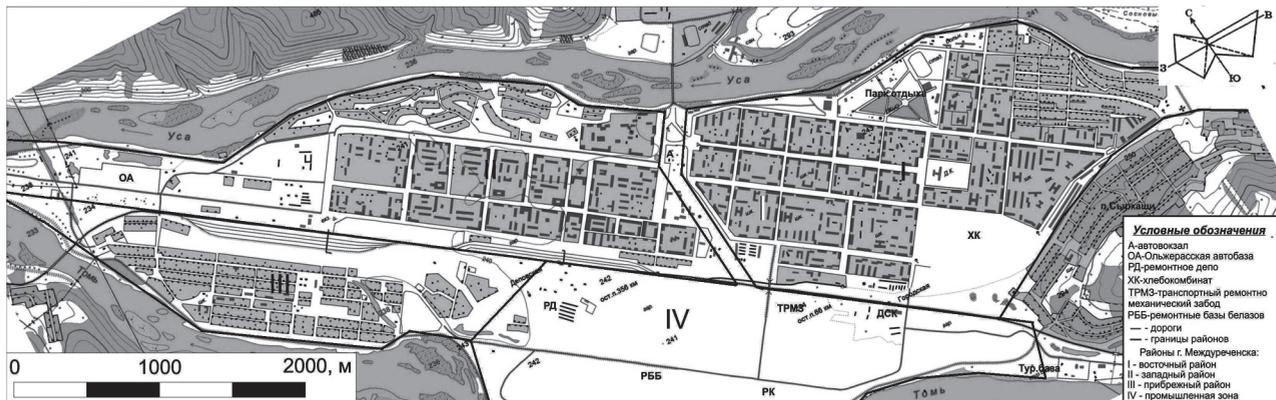


Рис. 1. Карта-схема г. Междуреченск

массовые взрывы горных пород. При преобладании юго-западных ветров большая доля загрязняющих веществ достигает города. Имеется 4 угольных разреза с ежегодной добычей свыше 56 тыс. т топлива.

Загрязнение атмосферного воздуха остается наиболее актуальной проблемой Кемеровской области в целом и в частности г. Междуреченска [5]. При этом г. Междуреченск занимает второе место среди городов Кемеровской области по валовой массе выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. В городе отсутствует государственная сеть за наблюдением уровня загрязнения атмосферного воздуха, нет сведений о содержании тяжелых металлов в воздухе, выбросы которых безусловно сопутствуют добыче угля. Угли Кузбасса содержат примеси токсичных элементов: Mn, Co, Ba, As и других [6]. Ранее выявлена специфическая особенность загрязнения компонентов природной среды угледобывающих регионов [7]. Цель настоящего исследования заключалась в изучении влияния атмосферных загрязнителей в районах размещения угольных предприятий на дополнительный риск развития заболеваемости населения города.

Документы US EPA [8], Европейские директивы 93/67/ЕС, 793/93/ЕС, 1488/94/ЕС, российское руководство по оценке риска [9] определяют методы оценки экологических рисков. Они содержат описание последовательности решения задачи, организации и анализа данных, учета неопределенностей и допущений с целью получения в какой-то степени унифицированной приблизительной информации о вероятности развития неблагоприятных экологических эффектов. Исследования по оценке риска активно внедряются в практику природоохранной и управленческой деятельности в сфере природопользования.

Ранее показано, в том числе и в наших работах, как результаты геохимического исследования почв могут быть использованы для оценки риска здоровью населения. Поверхностные слои почвы благода-

ря своей структуре накапливают опасные для здоровья человека загрязняющие вещества, в том числе и тяжелые металлы, которые могут представлять опасность для здоровья человека. Исследования по выявлению взаимосвязи между загрязнением почв и здоровьем человека с применением методологии оценки риска выполнены для г. Томска с многопрофильным производством [10], городов с развитой черной металлургической промышленностью [11], других регионов и территорий [12]. Обозначенное направление исследований активно развивается за рубежом, что отражено в соответствующей литературе, например, [13].

2. Экспериментальная часть

Для расчетов и оценок использованы результаты геохимического опробования почв (200 образцов), отобранных равномерно по всей территории г. Междуреченска, а также в прилегающих районах [7]. В пробах определено содержание тяжелых металлов методом электронной спектроскопии (полуколичественный анализ), ртути — атомно-адсорбционным методом. Анализы части проб продублированы методами инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Сходимость по выбранным элементам удовлетворительная [14].

Суммарный показатель загрязнения, характеризующий эффект воздействия группы элементов, рассчитывался следующим образом [15]:

$$Z_c(\text{СПЗ}) = \sum KK - (n - 1),$$

где $\sum KK$ — сумма коэффициентов концентраций;

n — число учитываемых аномальных элементов,

$KK = C_i/C_{\text{фи}}$ — коэффициент концентрации аномального содержания i -го химического элемента;

C_i — фактическое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг;

$C_{\phi i}$ — фоновое содержание i -го химического элемента в почвах или ПДК, мг/кг;

n — число учитываемых химических элементов с $KK > 1$.

Для оценки рисков токсического действия использовали российское руководство по оценке риска [9], руководство природоохранного агентства США [8], известные базы данных по канцерогенным и токсикологическим свойствам элементов, входящих в состав выбросов.

В среде «LabView» [16] разработано программное обеспечение, предназначенное для сбора и обработки большого объема данных. База данных представляет собой набор текстовых файлов со следующими именами и их содержимым: названия загрязняющих веществ; референтные дозы загрязняющих веществ RfD , референтные концентрации загрязняющих веществ RfC ; названия регионов по территории для усреднения; основной файл с концентрациями загрязняющих веществ во всех точках территории. Среди рассматриваемого круга металлов некоторые обладают доказанной канцерогенностью, однако в настоящей статье индивидуальный канцерогенный риск не рассматривался. Концентрации элементов в почве ($C_{\text{эл.почв}}$) были пересчитаны на концентрации во вдыхаемом воздухе ($C_{\text{инг}}$), с использованием модели переноса загрязнителя из почвы во вдыхаемый воздух [8]:

$$C_{\text{инг}} = C_{\text{пыли}} \cdot R \cdot f \cdot C_{\text{эл.почв}}$$

где $C_{\text{пыли}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$ мг/м³;

R — вдыхаемая фракция пыли, 73%;

f — загрязненная часть пыли, 1%;

Коэффициент опасности ингаляционного воздействия $KO_{\text{инг}}$ оценивался как отношение ингаляционной концентрации ($C_{\text{инг}}$) к референтной концентрации при ингаляционном воздействии ($RfC_{\text{инг}}$):

$$KO_{\text{инг}} = C_{\text{инг}} / RfC_{\text{инг}}$$

Среднесуточная доза при пероральном поступлении каждого элемента вместе с почвой рассчитывалась следующим образом:

$$LADD = \left[\frac{C \cdot V \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} \right] \cdot 10^{-6},$$

где $LADD$ — среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг·сутки);

C — $C_{\text{эл.почв}}$ (по данным анализа почв), мг/кг.

При этом использовались стандартные факторы экспозиции:

V — суточное пероральное поступление почвы в организм взрослого человека, 100 мг/день;

ED — продолжительность воздействия, 30 лет;

EF — частота воздействия — 350 дней в год;

BW — масса тела человека, 70 кг;

AT — период усреднения экспозиции — 30 лет; 365 — число дней в году

Коэффициент опасности перорального воздействия $KO_{\text{пер}}$ оценивался как отношение среднесуточной дозы к референтной дозе при пероральном воздействии ($RfD_{\text{пер}}$):

$$KO_{\text{пер}} = LADD / RfD_{\text{пер}}$$

Суммарный коэффициент опасности по каждому элементу рассчитывался как сумма коэффициентов опасности перорального ($KO_{\text{пер}}$) и ингаляционного ($KO_{\text{инг}}$) воздействия для каждого элемента.

С помощью генератора случайных чисел и программного обеспечения «МАТКАД» построены вероятностные модели распределения среднесуточных доз.

В последнее время в литературе широко обсуждаются показатели риска как некоторые индексы, способные характеризовать количественную взаимосвязь между уровнем загрязнения и здоровьем человека, а не как прогнозная оценка заболеваемости.

3. Результаты и их обсуждение

Территория г. Междуреченска разделена на 4 района: Западный, Прибрежный (Притомский), Восточный и Промышленный (промышленная зона). В табл. 1 приведено содержание микроэлементов в почво-грунтах промышленного и жилых районов г. Междуреченска. Полученные результаты приведены в сравнении с предельно допустимыми концентрациями согласно гигиеническим нормативам РФ [17], а также в сравнении с нормативами, принятыми в Нидерландах и некоторых других странах, по данным [18]. Именно там развивался гибкий подход к нормированию как результат многочисленных и разнообразных экотоксикологических исследований. Также следует отметить, что содержание химических веществ в почве нормируется, как правило, в национальных стандартах. На международном уровне нормативов содержания загрязняющих веществ в почве нет. На сегодня в России утверждены наиболее жесткие по сравнению с зарубежными странами предельно допустимые концентрации по ряду элементов.

Ртуть. Содержание элемента изменяется в почво-грунтах от 0,02 до 1,5 мг/кг, при средней величине 0,16 мг/кг. На схеме распределения ртути отмечаются несколько ореолов с содержанием элемента, превышающим 0,2 мг/кг, их большая часть приходится на Восточный район. Уровни накопления ртути в по-

Таблица 1

Средние содержания элементов в почвах г. Междуреченска, мг/кг

	Восточный район (81 проба)	Западный район (48 проб)	Прибрежный район (26 проб)	Промышленный район (44 пробы)	в целом по городу (199 проб)	ПДК, мг/кг [17]	Нормативы, Нидерланды [18]
<i>Элементы I класса опасности</i>							
Hg	0,20±0,02	0,13±0,02	0,09±0,02	0,12±0,02	0,15±0,01	2,1	0,3
Pb	37±4	37±6	33±7	34±4	35±3	6,0	85
Zn	128±14	91±16	97±19	94±9	108±4	23,0	140
As	14±1	9±2	8±2	10±1	11±1	2,0	29
<i>Элементы II класса опасности</i>							
Cr	62±7	83±14	78±16	72±10	71±5	6,0(Cr+3) 0,05(Cr+6)	100
Ni	48±5	47±8	38±8	37±5	43±3	4,0	35
Co	19±2	17±3	19±4	18±2	18±1	5,0	20
Cu	53±6	46±8	54±11	66±9	56±4	3,0	36
Mo	2,9±0,3	3,2±0,5	3,4±0,7	3,4±0,4	3,1±0,2		10-200
<i>Элементы III класса опасности</i>							
Mn	388±43	449±77	388±78	383±50	397±28	1500	
Ba	466±51	471±81	588±118	517±68	496±35		200
V	52±6	77±13	74±15	61±8	62±4	150	

чвах ниже ПДК, установленных для почв, согласно некоторым национальным стандартам, в качестве которых выбраны Нидерланды, и стандартам, принятым в нашей стране.

Свинец. Содержание элемента колеблется от 10 до 300 мг/кг, при средней величине 35 мг/кг. Во всех районах города концентрации практически одинаковы, и только отмечаются несколько локальных ореолов, приходящихся на участки интенсивного движения автотранспорта и промышленные предприятия (ремонтно-механический завод). Содержание свинца превышает гигиенические нормативы РФ. На сегодня в России утверждены наиболее жесткие по сравнению с зарубежными странами предельно допустимые концентрации по ряду элементов, и это касается свинца.

Цинк. Содержание элемента меняется от 30 до 300 мг/кг при средней величине 108 мг/кг. Из всех районов выделяются Восточный и Прибрежный, где средние концентрации соответственно равны 128 и 97 мг/кг. Площадные и локальные ореолы повышенных концентраций элементов приходятся на центр района Восточный, где раньше находился городской автовокзал. Известно, что цинк попадает в почву при истирании автомобильных шин. Средние значения превышают ПДК, принятые в России, но укладываются в национальные стандарты большинства зарубежных стран [18].

Мышьяк. Содержание элемента меняется от 1 до 28 мг/кг, при средней величине 11 мг/кг. В отдельных точках в районе ремонтно-механического завода содержание мышьяка составляет 51 мг/кг.

Хром. Содержание элемента изменяется от 8 до 600 мг/кг при средней величине 71 мг/кг. Для всех районов города средние концентрации близки, хотя в Западном несколько выше и составляет 83 мг/кг. Область повышенных концентраций приходится на район расположения ремонтно-механического завода. Возможно, сказывается влияние чугуно-литейного производства.

Никель. Содержание элемента изменяется от 10 до 100 мг/кг, при средней величине 43 мг/кг. В Восточном районе концентрация равна 48 мг/кг. Ореолы с повышенными содержаниями элемента приурочены к улицам 50 лет Комсомола — пер. Тигровый, район участка механизации УЖКХ, около Виадукка и ул. Пионерской.

Кобальт. Содержание элемента изменяется от 3 до 60 мг/кг, при средней величине 18 мг/кг. Из всех районов по среднему содержанию элементов выделяются Восточный и Прибрежный, где средние концентрации равны 19 мг/кг. На схеме распределения кобальта выделяется несколько контрастных локальных ореолов в районе ул. Ермака, улиц Юдина — Кузнецкой, ул. Пионерской, д. 17.

Медь. Содержание элемента изменяется от 20 до 200 мг/кг, при средней величине 56 мг/кг. Из всех исследованных районов выделяется промышленная зона, где средняя величина равна 66 мг/кг. На схеме распределения меди выделяется несколько локальных контрастных ореолов с повышенной концентрацией, приуроченных к пересечению улиц 50 лет Комсомола-Кузнецкая, ул. Горького и др. В целом содержание меди не превышает ПДК по зарубежным данным, за исключением нескольких локальных точек в Прибрежном, Промышленном и Восточном

районах, где концентрация в 1,5–2 раза выше нормативных показателей.

Сравнивая содержание хрома, никеля, меди, кобальта в почвах города с ПДК, следует сказать, что практически повсюду российские нормативы превышены.

Молибден. Содержание элемента изменяется от 1 до 6 мг/кг, при среднем значении 3,1 мг/кг. Лишь в отдельных точках незначительно превышены нормативные показатели.

Марганец. Содержание марганца изменяется от 100 до 1000 мг/кг, при среднем значении 397 мг/кг. Средние повышенные концентрации характерны для Западного района (449 мг/кг). Несколько локальных контрастных ореолов с повышенными концентрациями элемента фиксируются в районах пересечения ул. Юдина — пр. Строителей, ул. Интернациональная, ж/д станция Междуреченск. В целом, содержание марганца не превышает ПДК РФ (1500 мг/кг), но в отдельных точках Центра, Восточного и Западного районов превышает нормативные показатели, принятые в зарубежных странах [18].

Барий. Содержание бария изменяется от 200 до 3000 мг/кг, при средней величине 496 мг/кг. Из всех районов выделяется Прибрежный район, где средняя концентрация бария равна 588 мг/кг, а также прослеживаются три локальных ореола в Западном и Прибрежном районах.

Ванадий. Содержание элемента изменяется от 20 до 200 мг/кг, при среднем значении 62 мг/кг. Наиболее контрастно по данному компоненту просматривается Западный и Прибрежный районы (средние концентрации составляет соответственно 77 и 74 мг/кг). На схеме распределения ванадия выделяются ореолы в районах Сыркаши и Западный. В Сыркашах его повышенное значение может быть объяснено геологической природой (кора выветривания Сыркашинского силла). В целом содержание ванадия превышает ПДК в 1,2 раза по зарубежным данным, но ниже нормативных показателей, установленных в РФ, за исключением отдельных точек наблюдения, где концентрации превышают в 1,3 раза российские нормы.

Оценка суммарного показателя загрязнения [7] показала, что существует ореол загрязнения в центральной части Восточного района (район автовокзала), в промышленной зоне (ремонтно-механический завод и литейное производство). По величине суммарного показателя загрязнения (16–32, [7]) г. Междуреченск относится к числу территорий, имеющих слабое и среднее загрязнение с умеренно опасным уровнем заболевания. Помимо этого, повышенные концентрации характерны для элементов, входящих в органической и неорганических формах в состав угля, добыча и обогащение которого происходит на ряде предприятий, окружающих город.

4. Оценка риска для здоровья

Наличие в городских почвах элементов I–III классов опасности (по ГОСТу 17.4.1.02-83) в концентрациях, превышающих ПДК с учетом фона, создает опасность для работающих и населения. Это создает серьезные предпосылки для оценки рисков здоровья из-за попадания загрязненных частичек почвы в организм человека вместе с пылью.

Выбросы такого крупного угледобывающего региона, как Кузбасс, характеризуются тем, что содержат большой процент пылевых частиц разнообразного химического состава, обладающих эффектом оседания на подстилающую поверхность. При этом не исключена ситуация, когда промышленные выбросы, будучи допустимыми с точки зрения максимального разового загрязнения атмосферы, могут привести к весьма существенному накоплению вредных веществ на поверхности. Многолетние оседания из атмосферы и накопление в почве техногенной пыли может снизить урожайность земли. Загрязнение снегового покрова в течение зимнего периода с последующим стоком талых вод в водоемы может значительно ухудшить качество воды. Таким образом, изучение процессов вторичного поступления загрязняющих веществ из атмосферы в почву, воду и продукты питания требует самого пристального внимания.

Частицы почвы могут попадать в организм при заглатывании или дыхании. Особенно актуально это для играющих на детских площадках детей. Возможен переход вредных веществ из почвы в выращенные на ней продукты питания. Сам факт присутствия в городских почвах широкого спектра высокотоксичных элементов не может не вызывать опасения. К тому же, значительная часть города занята районами с индивидуальной застройкой, и это не исключает возможность перехода загрязнителей в выращиваемую на приусадебных участках сельхозпродукцию.

В соответствии с целями и задачами исследования, расчет экспозиции проводился на основании результатов, представленных в табл. 1, а именно, средних содержаний тяжелых металлов и мышьяка в пределах каждого района, и в целом по городу. Рассчитанные среднесуточные дозы всех элементов приведены в табл. 2.

5. Оценка неопределенности

Факторы экспозиции по смыслу являются неопределенными и имеют доверительный интервал значений, в пределах которого эти параметры могут варьироваться. Поэтому для анализа неопределенностей при расчетах среднесуточных доз применили генератор случайных чисел, с помощью которого формируются последовательные сценарии. Этот процесс

Таблица 2
Среднесуточные пероральные дозы поступления различных элементов, полученные населением административных районов города, мг/кг·день

	Восточный район	Западный район	Прибрежный район	Промышленный район	В целом по городу
Hg	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Pb	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$
Zn	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
As	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Cr	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$
Ni	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Co	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Cu	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Mo	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
Mn	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Ba	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$
V	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$

повторяется множество раз, иногда несколько тысяч раз. Результаты всех имитационных экспериментов объединяются в выборку и анализируются с помощью статистических методов с целью получения закона распределения вероятностей среднесуточных доз. В результате значение среднесуточных доз выражается не каким-либо единственным значением, а вероятностным распределением всех возможных его значений.

На рис. 2 показаны вероятности распределения среднесуточных доз поступления меди, марганца, хрома, мышьяка, кобальта с учетом доверительного интервала, в пределах которого варьируются величины, входящие в расчет среднесуточного поступления. Варьирование параметров, входящих в расчет среднесуточной дозы, приведено в табл. 3.

Применение вероятностных моделей повышает точность оценок риска [19]. Среднесуточные дозы поступления изученных элементов пероральным путем лежат в широком диапазоне, существенно отличаясь для разных элементов. Минимальные значения получены для ртути: $1,2 \cdot 10^{-7}$ – $2,7 \cdot 10^{-7}$ мг/кг·день, максимальные — для мышьяка ($1,1 \cdot 10^{-4}$ – $1,9 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день), цинка ($1,2 \cdot 10^{-4}$ – $1,8 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день), марганца ($5,2 \cdot 10^{-4}$ – $6,1 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день). Если сравнивать среднесуточные дозы с данными, полученными в других регионах, то можно отметить близкий интервал изменения доз для местечка “Catalan stretch of the Ebro River”, Испания [20], “Fosu Lagoon”, Южная Гана [13] и несколько более низкие значения для г. Новодвинска [21] (северо-запад России). Обнаруженные там концентрации всех металлов тоже ниже. Эти регионы выбраны

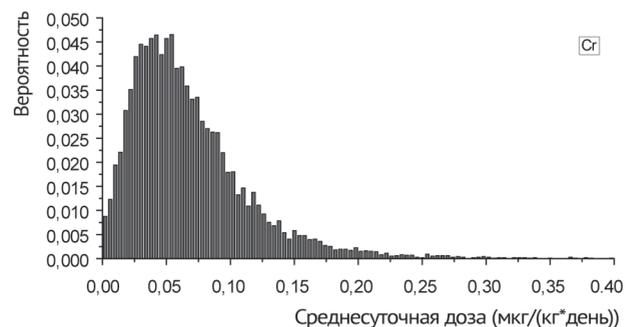
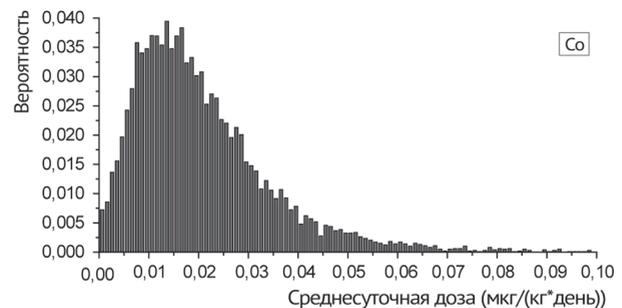
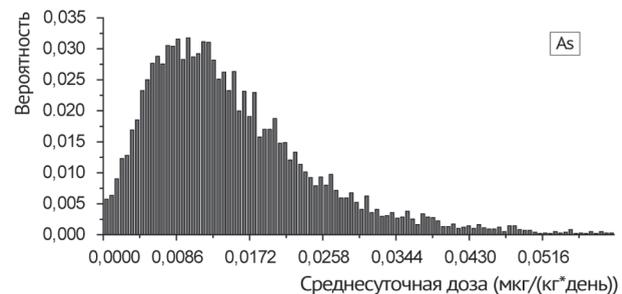
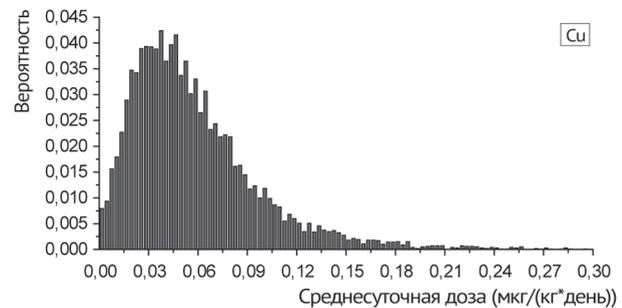
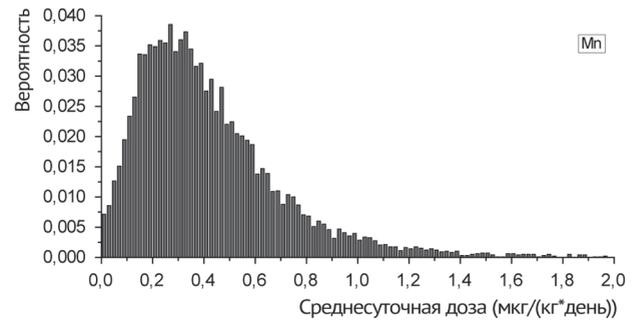


Рис. 2. Распределение плотности вероятности среднесуточных доз (мкг/(кг·день)), полученных при пероральном воздействии Mn, Cu, As, Co, Cr при их эмиссии из почв (по району в целом)

Таблица 3
Распределение параметров экспозиции и риска

Параметр	Символ	Единицы измерения	Тип распределения	Распределение
Суточное пероральное поступление почвы в организм взрослого человека	V	мг/день	нормальное	100 (0–170)
Продолжительность воздействия	ED	число лет	логнормальное	30 (19–43)
Частота воздействия	EF	дней/ в год	триангулярное	350 (180–365)
Вес тела взрослого человека	BW	кг	логнормальное	70 (55–80)
Период усреднения экспозиции	AT	year	Точечное	30
Концентрации элементов в почве	$C_{эл.почв}$	мг/кг	нормальное	$C_{эл.почв} \pm SD$

для сопоставления, так как оценки проводились практически по одному и тому же перечню элементов, обнаруженных в почвах. Следует отметить, что сопоставление следует проводить с учетом анализа неопределенности, о чем упомянуто выше.

На рис. 3 показан вклад всех элементов в суммарный коэффициент опасности. Видно, что основным вклад в суммарный коэффициент опасности вносят марганец, кобальт, медь, мышьяк, для которых $KO > 0,05$. Значения диапазонов изменения суммарных коэффициентов опасности, рассчитанных по усредненным в пределах административных зон концентрациям элементов от ингаляционного и перорального поступления, составляют, соответственно: для Mn (0,42–0,50), Co (0,18–0,20), Cu (0,13–0,19), As (0,05–0,09).

Расчет суммарного коэффициента опасности, который представляет собой сумму кратностей превышения наблюдаемой экспозиции над пороговой дозой ($KO_{пер}$) и ингаляционной концентрации над референтной ($KO_{инг}$), позволил ранжировать районы города по уровню опасности неканцерогенных эффектов.

На рис. 4 показано сравнение различных районов города по значению суммарных коэффициентов опасности. По убыванию суммарного коэффициента опасности для людей от токсического воздействия элементов, обнаруженных в почве, при ее пылении, случайном заглатывании частиц, при вдыхании, административные районы города образуют ряд: Промышленный (0,88), Восточный (0,87), Западный (0,86), Прибрежный (0,84). Из рисунка следует, что в целом нет ярко выраженной дифференциации зон по значению коэффициента опасности. Все перечис-

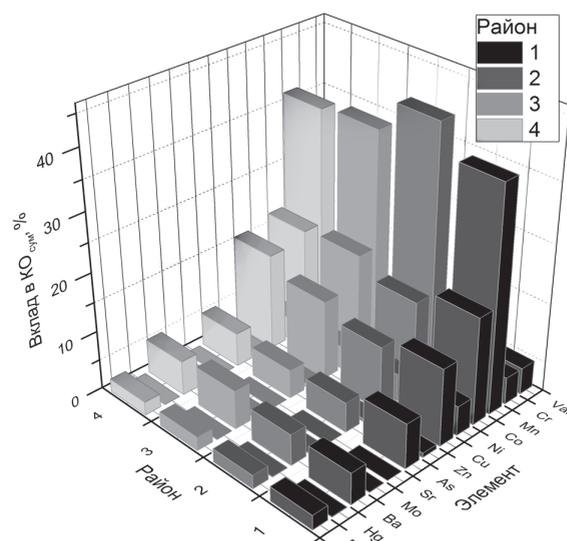


Рис. 3. Вклад всех элементов в суммарный коэффициент опасности в 4 районах города. 1 – Восточный, 2 – Западный, 3 – Прибрежный, 4 – Промышленный

ленные значения коэффициентов опасности в соответствии с критериями приемлемости попадают в разряд допустимого или приемлемого риска. Однако сам факт того, что суммарный коэффициент опасности токсического воздействия близок к 1, заставляет наблюдать ситуацию в динамике.

Круговая диаграмма распределения вклада марганца, кобальта, меди и мышьяка в суммарный коэффициент опасности в Восточном (1), Западном (2), Прибрежном (3) и Промышленном (4) районах приведена также на рис. 4. По уменьшению их вклада в суммарный коэффициент опасности они образуют следующий ряд: Mn (0,42–0,50) > Co (0,18–0,20) > Cu (0,13–0,19) > As (0,05–0,09). Все они входят в органической и неорганических формах в состав угля и угольных шлаков. Наибольшие локальные концентрации мышьяка в углях, превышающие ПДК в 2 раза, обнаружены на Междуреченском разрезе в Кузбассе. В углях Междуреченского разреза выявлены участки, на которых концентрация марганца в 15 раз превышает средние значения [22]. И если в целом отмечается, что рассчитанные средние содержания токсичных элементов в рассмотренных объектах Сибири не превышают ПДК этих элементов для углей, то при их сжигании ситуация меняется. Их накопление, в том числе и в почве, уже зависит не от количества складированных отвальных пород, а в основном, от их концентрации, которая существенно выше в продуктах сгорания углей в котельных, чем в самих углях.

В литературе достаточно широко обсуждаются экологические риски, связанные с угледобывающими и углеперерабатывающими предприятиями на

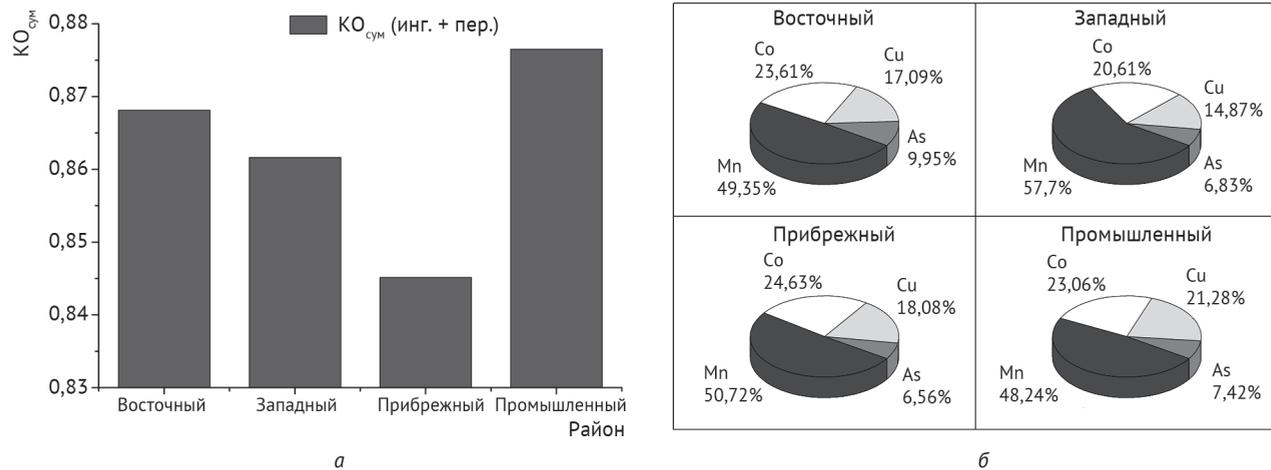


Рис. 4. Коэффициент опасности токсического воздействия от ингаляционного и перорального поступления элементов-токсикантов в различных районах города: а – сравнение районов города по величине суммарного коэффициента опасности; б – круговая диаграмма распределения вклада марганца, кобальта, меди и мышьяка в суммарный коэффициент опасности по районам

Кузбассе. Показано, что вдыхание угольных взвешенных частиц, независимо от их химического состава, увеличивает вероятность смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Что касается канцерогенной активности, то ее связывают, прежде всего, с бенз(а)пиреном, содержание которого составляет в каменном угле, используемом на угольной ТЭС юга Кузбасса, 20–70 мкг/кг, по данным [23]. Отмечается корреляция между увеличением использования угля и ростом частоты рака лёгких [3, 4, 23]. Популяционный риск нарушения здоровья населения города от воздействия взвешенных частиц составляет 4,65 дополнительных случаев смертности в год. Популяционный канцерогенный риск нарушения здоровья населения города от воздействия бенз(а)пирена составил $18,9 \cdot 10^{-6}$ дополнительных случаев онкологических заболеваний в год. Все это, безусловно главные и значимые факторы влияния угольной отрасли на организм человека.

Однако нельзя недооценивать опасность, связанную с воздействием «тяжелых» металлов — компонентов угля и продуктов его сгорания [22]. В настоящем исследовании делается акцент на токсичные элементы, которые могут представлять неканцерогенную опасность для здоровья человека. Проявляется она в получении ощутимого вреда не одновременно с однократным поступлением большой дозы вещества в результате кратковременного острого воздействия. Опасность состоит в том, что при длительном проживании в одной и той же местности человек испытывает пролонгированное воздействие. В течение многих лет небольшие концентрации веществ усваиваются, что приводит к их аккумуляции в костях и органах и грозит возникновением якобы внезапных заболеваний.

6. Заключение

В статье мы рассмотрели хроническое воздействие токсикантов, которые повсеместно присутствуют в атмосфере промышленных городов и не имеют четко выраженной геохимической приуроченности к специфике промышленных производств. При этом элементы-примеси, вносящие наибольший вклад в суммарный риск (кобальт, марганец, медь, мышьяк), обнаружены в углях Междуреченского разреза в концентрациях, превышающих их средние значения в углях Сибири. Их контрастные геохимические аномалии, как правило, не образуются, но в техногенную миграцию вовлекаются значительная их масса. Так, например, если сравнивать различные источники поступления меди в почвы в глобальном масштабе, то на втором месте — угольная пыль и шлаки, глобальное техногенное поступление меди 372 тыс. т в год, больше поступление только при коррозии металлов, 559 тыс. т в год [24]. Подобная ситуация и с техногенным поступлением мышьяка в почвы — 21,8 тыс. т при выбросах угольной пыли и шлаков, 38,5 тыс. т — при коррозии металлов. Вклады остальных источников техногенного поступления микроэлементов в почвы (отходы, отбросы, лесозаготовки, атмосферные выпадения) на порядки ниже.

Добыча, обогащение и использование угля происходит на большом количестве предприятий, окружающих город. Поэтому, по-видимому, коэффициент опасности не слишком отличается в различных районах города, а отражает общую антропогенную нагрузку, связанную с воздействием угольной индустрии, и локальную, связанную с деятельностью ремонтно-механического предприятия и транспорта.

Литература

1. A/RES/66/288. The future we want. Available at: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N11/476/10/PDF/N1147610> (accessed 28 April 2015)
2. A/68/970. Report of the Open Working Group of the General Assembly on Sustainable Development Goals. Available at: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N14/503/67/PDF/N1450367>: (accessed 28 April 2015)
3. Захаренков В.В., Виблая И.В., Олещенко А.М. Проблемы общественного здоровья в Сибирском федеральном округе и пути их решения // Вестник РАЕН. — 2011. — № 13. — С. 39–45.
4. Ларин С.А. Оценка и прогноз канцерогенной опасности для населения угледобывающих регионов России и Украины (на примере Кемеровской и Донецкой областей) Новосибирск: Изд-во СО РАН. — 2010. — 156 с.
5. Александрова Е. А., Евтушик Н. Г., Силенков В. И., Сафонов Л.П., Экологические проблемы г. Междуреченска. — Новокузнецк: Изд-во НГПИ. — 1997. — 117 с.
6. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Изв. Томск. политехн. ун-та. — 2007. — Т. 311. — № 1. — С. 77–83.
7. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореферат дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Томск, 2006. — 46 с.
8. Risk assessment. Guidance for Superfund: Volume 1 - Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA. USEPA. 1989.
9. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство Р. 2.1.10.1920-04. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. — 273 с.
10. Осипова Н.А., Жорняк Л.В., Язиков Е.Г. Оценка токсического воздействия химического загрязнения почв урбанизированных территорий (на примере г.Томска) // Экология промышленного производства. — 2013. — № 3. — С. 2–10.
11. Антипанова Н.А. Геохимическое загрязнение и канцерогенный риск здоровью экспонируемого населения центра черной металлургии // Современные проблемы науки и образования. — 2007. — №3. — С. 97–101
12. Менчинская О.В. Оценка влияния неканцерогенных веществ на здоровье населения по техногенным геохимическим аномалиям в почвах (на примере Владикавказа) // Прикладная геохимия. — 2004. — № 5. — С. 188–201.
13. Armah FA, Luginaah I, Essandoh PK, Afrifa EKA. Ecological Health Status of the Fosu Lagoon, Southern Ghana I: Biotic Assessment // Journal of Ecosystem & Ecography. — 2012. — Vol.2. Issue 1. — doi:10.4172/2157-7625.1000110
14. Михальчук А.А., Язиков Е.Г., Ершов В.В. Статистический анализ эколого-геохимической информации. Томск, изд-во Томск. политехн. ун-та, 2006. — 235 с.
15. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. — М.: ИМГРЭ, 1982. — 111 с.
16. Д. Тревис. Lab VIEW для всех. М.: Дом книги, 2005. — 544 с.
17. Промежуточный технический отчет. Нормативы качества окружающей среды. [Interim technical report. Environmental Quality Standards. Regulation features of contaminants in soils of Russia and abroad. Available at: http://www.ipprussia.org/public/cluster10/10-4b_soil_RU.pdf. (accessed 12 March 2012)
18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. — 15 с.
19. Dawoud E., Purucker S. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White Paper, Tech. rep., USEPA, 1996.
20. Ferre-Huguet N., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L. Human Health Risk Assessment for Environmental Exposure to Metals in the Catalan Stretch of the Ebro River, Spain // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. — 2009. — Vol15. Issue 3. — P. 604–623.
21. Т. Н. Унеуряну Т.Н., А. Б. Гудков А.Б., А. Н. Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья городского населения при воздействии контаминантов почвы // Гигиена окружающей и производственной среды. — 2012. — № 1. — С. 101–105.
22. Волостнов А.В., Арбузов С.И. Токсичные элементы в углях Сибири // Энергетик. — 2011. — №3. — С. 39–43.
23. Захаренков В.В. Кислицына В.В. Определение приоритетности природоохранных мероприятий на основе оценки риска для здоровья населения промышленного города // Успехи современного естествознания. — 2014. — №2. — С. 12–15.
24. Мотузова Г.В. Загрязнение почв и сопредельных сред. Изд-во Московского университета, 2000. — 71 с.

References

1. A/RES/66/288, *Budushchee, kotorogo my khotim. Rezolyutsiya, prinyataya General'noy Assambleey OON* [A / RES / 66/288, the future that we want. Resolution adopted by the UN General Assembly], 2012. Available at: <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/RES/66/288>
2. A/68/970. *Doklad Rabochey gruppy otkrytogo sostava General'noy Assamblei po tselyam v oblasti ustoychivogo razvitiya* [A / 68/970. Report of the Working Group of the General Assembly on the goals of sustainable development]. 2014. Available at: <http://sustainabledevelopment.un.org/>
3. Zakharenkov V.V., Viblaya I.V., Oleshchenko A.M. Problemy obshchestvennogo zdorov'ya v Sibirskom federal'nom okruge i puti ikh resheniya [Public health problem in the Siberian

- Federal District and solutions]. *Vestnik RAEN* [Bulletin of Natural Sciences]. 2011, I. 13, pp. 39–45 (in Russian).
4. Larin S.A. *Otsenka i prognoz kantserogennoy opasnosti dlya naseleniya ugledobyvayushchikh regionov Rossii i Ukrainy (na primere Kemerovskoy i Donetskoy oblastey)* [Assessment and forecast of carcinogenic risks for the population of coal-mining regions of Russia and Ukraine (on the example of the Kemerovo and Donetsk regions)]. Novosibirsk, Publ. SO RAN. 2010. 156 p (in Russian).
 5. Aleksandrova E. A., Evtushik N. G., Silenkov V. I., Safonov L.P. *Ekologicheskie problemy g. Mezhdurechenska* [Ecological problems of Mezhdurechensk]. Novokuznetsk, NGPI Publ., 1997 (in Russian).
 6. Arbuzov S.I. *Metallonosnost' ugley Sibiri* [Metallonosnost coal Siberia]. *Izv. Tomsk. politekh. un-ta* [The Tomsk Polytechnic University]. V. 311, I. 1, pp. 77–83 (in Russian)
 7. Yazikov E.G. *Ekogeokhimiya urbanizirovannykh territoriy yuga Zapadnoy Sibiri. Dokt. diss.* [Ecogeochemistry urbanized areas of the south of Western Siberia. Doct. Diss.], Tomsk, TPU Publ. 46 p (in Russian).
 8. USEPA. 1989. Risk assessment Guidance for Superfund: Vol. 1 — Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA
 9. *Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu. Rukovodstvo R. 2.1.10.1920-04.* [Guidelines for the assessment of health risk when exposed to chemicals that pollute the environment. R. 2.1.10.1920-04 Guide]. Moscow, Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava RF Publ., 2004. 273 p (in Russian).
 10. Osipova N.A., Zhorniyak L.V., Yazikov E.G. *Otsenka toksicheskogo vozdeystviya khimicheskogo zagryazneniya pochv urbanizirovannykh territoriy (na primere g.Tomska)* [Evaluation of the toxic effects of chemical contamination of soils in urban areas (for example, Tomsk)]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva: mezhotraslevoy nauchno-prakticheskiy zhurnal* [Ecology of industrial production: interdisciplinary scientific journal]. 2013, I. 3, pp. 2–10 (in Russian).
 11. Antipanova N.A. *Geokhimicheskoe zagryaznenie i kantserogennoy risk zdorov'yu eksponiruemogo naseleniya tsentra chernoy metallurgii* [Geochemical contamination and carcinogenic health risk of the exhibited population center of the steel industry]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2007, I. 3 (in Russian).
 12. Menchinskaya O.V. *Otsenka vliyaniya nekantserogennykh veshchestv na zdorov'e naseleniya po tekhnogennym geokhimicheskim anomalijam v pochvakh (na primere Vladikavkaza)* [Assessing the impact of non-carcinogenic substances on the health of the population at technogenic geochemical anomalies in soils (for example, Vladikavkaz)]. *Prikladnaya geokhimiya* [Applied Geochemistry]. 2004, I. 5, pp. 188–201 (in Russian).
 13. Armah FA, Luginaah I, Essandoh PK, Afrifa EKA (2012) Ecological Health Status of the Fosu Lagoon, Southern Ghana I: Biotic Assessment. *J Ecosyst Ecogr* 2:110. doi:10.4172/2157-7625.1000110
 14. Mikhal'chuk A.A., Yazikov E.G., Ershov V.V. *Statisticheskiy analiz ekologo-geokhimicheskoy informatsii* [Statistical analysis of the ecological and geochemical information]. Tomsk, TPU Publ., 2006. 235 p (in Russian).
 15. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya territoriy gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the geochemical assessment of contamination by chemical elements urban areas]. Moscow, IMGRE Publ., 1982. 111 p (in Russian).
 16. D. Trevis. *Lab VIEW dlya vsekh* [Lab VIEW for all]. Moscow, Dom knigi Publ., 2005. 544 p (in Russian).
 17. *Promezhutochnyy tekhnicheskii otchet. Blok deyatelnosti 10. Normativy kachestva okruzhayushchey sredy. 10.4b — Osobennosti normirovaniya sodержaniya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh Rossii i za rubezhom* [Interim Technical otchet. Activity Cluster 10 Environmental Quality. 10.4b — Features valuation of contaminants in soils in Russia and abroad]. Available at: URL: http://www.ipccrussia.org/public/cluster10/10-4b_soil_RU.pdf. (accessed 12 March 2012) (in Russian).
 18. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskie normativy. GN 2.1.7.2041-06.* [Predelno permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil. Hygienic standards. GN 2.1.7.2041-06.] (in Russian)
 19. Dawoud E., Purucker S. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White Paper, Tech. rep., USEPA, 1996.
 20. Ferré-Huguet, N., et al., Human Health Risk Assessment for Environmental Exposure to Metals in the Catalan Stretch of the Ebro River, Spain. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2009. 15(3): p. 604–623.
 21. Unguryanu T.N., Gudkov A.B., Nikanov A.N. *Otsenka riska dlya zdorov'ya gorodskogo naseleniya pri vozdeystvii kontaminantov pochvy* [Health Risk Assessment of urban population exposure to contaminants in the soil]. *Gigiena okruzhayushchey i proizvodstvennoy sredy* [Environmental health and environment], 2012, I. 1, pp. 101–105 (in Russian).
 22. Volostnov A.V., Arbuzov S.I. *Toksichnye elementy v uglyakh Sibiri* [Toxic elements in coal Siberia]. *Energetik* [Energetic]. 2011, I. 3, pp. 39–43 (in Russian).
 23. Zakharenkov V.V., Kislitsyna V.V. *Opredelenie prioritnosti prirodookhrannykh meropriyatiy na osnove otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya promyshlennogo goroda* [Prioritization of environmental measures on the basis of risk assessment to public health of the industrial city]. *Meditsinskie nauki* [Medical sciences]. 2014, I. 2, pp. 12–15 (in Russian).
 24. Motuzova G.V. *Zagryaznenie pochv i sopredel'nykh sred* [Pollution of soils and adjacent environments]. Publishing house of the Moscow University, 2000. 71 p.

Heavy Metals in Soils Affected by Coal Enterprises and Their Impact on Human Health

N.A. Osipova, Associate Professor, Ph.D. in Chemistry, Tomsk Polytechnic university

E.G. Yazikov, Head of Geoecology and Geochemistry Department, Professor, Doctor in Geology, Tomsk Polytechnic University

N.P. Tarasova, Director of the Institute of Chemistry and Problems of Sustainable Development, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Sciences (Chemistry), Professor, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

K.Yu. Osipov, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch

Concentrations of heavy metals in Southern Kuzbass urban soils affected by coal mining industry and city boilers were studied. The risks of toxic effects of elements found in soils as a result of geochemical sampling (200 samples) were identified. The hazard ratio during the intake of elements - toxins into the human body orally and via inhalation was calculated. Analysis of uncertainty in the estimation of the average daily doses was carried out. The obtained risk parameters fall into the category of permissible or acceptable. The primary contribution to the total hazard ratio is made by the manganese, cobalt, copper, and arsenic. These elements show special features of the soil in the affected area of coal mining, urban boilers everywhere and the activity of repair – metallurgical and foundry businesses locally. No pronounced differentiation of the city areas according to the value of the hazard ratio was discovered.

Keywords: heavy metals, geochemistry of soils, health risk, chemical exposure, coal industry impact.

В Москве пройдет III Международный конгресс «Сбор, хранение, переработка и утилизация углеводородсодержащих отходов: актуальные проблемы экологической безопасности России»

Открытие конгресса, который пройдет в рамках подготовки к III Национальному нефтегазовому форуму, состоится 10 июня 2015 г. в ЦВК «Экспоцентр». В деловую программу включены вопросы, связанные с совершенствованием нормативно-правовой базы в сфере экологической безопасности, внедрением новых технологий на перерабатывающих предприятиях, привлечением инвестиций в экологические проекты нефтегазовой отрасли страны и др. Кроме того, будут рассмотрены вопросы внедрения новых экологических стандартов в ТЭК.

Подготовленные в ходе Конгресса рекомендации будут направлены в Администрацию Президента России, Правительство РФ, Совет Федерации и Государственную думу Федерального Собрания Российской

Федерации с целью содействия формированию в России комплексной системы переработки нефтяных и других опасных промышленных отходов. Мероприятие проводится при официальной поддержке Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Минэнерго России, Союза нефтегазопромышленников России, Комитета по энергетической политике и энергоэффективности РСПП, Комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК ТПП РФ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. В работе Конгресса планируют принять участие более 300 делегатов из России, Европы, США и Канады.

Информация о конгрессе на сайтах: www.oiland-gasforum.ru, www.oil-slime.ru, www.oilgasinform.ru, а также по тел.: +7 (495) 640-34-64, 620-58-44, 954-76 28.