УДК 502.2; 622; 504.5

НЕКОТОРЫЕ ТРЕНДЫ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА УРАЛЕ

[1]Мельчаков Ю.Л., [2]Семячков А.И., [2]Почечун В.А., [3]Козаренко А.Е., [4]Суриков В.Т., [2]Архипов М.В.

[1]ГБОУ ВПО «Уральский государственный педагогический университет», Екатеринбург, e-mail: melchakov_y_l@mail.ru;
[2]ГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург;
[3]ГБОУ ВПО «Московский городской педагогический университет», Москва;
[4]ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской Академии наук

В данной работе рассмотрен новый уровень исследований, предполагающий выяснение закономерностей миграции масс элементов, вовлекаемых в атмобиогеохимические циклы. Акцент сделан на тренды аэротехногенного загрязнения. Исследованы три района Урала: окрестности Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области), Южноуральского никелевого комбината (г. Орск Оренбургской области) и Уфалейского никелевого комбината (г. В. Уфалей Челябинской области). Результаты исследований показали, что четко выраженная с 1991 г. тенденция снижения объемов выбросов в атмосферу большинством уральских промышленных предприятий не привела к закономерному снижению атмосферных выпадений всех проанализированных соответствующих элементов-загрязнителей в прилегающих зонах. Выводы по всему набору элементов, являющихся приоритетными для определенного вида техногенеза, противоречивы: для одних элементов тенденция снижения модулей проявляется, а для других – нет.

Ключевые слова: геохимия окружающей среды, миграция химических элементов, аэротехногенное загрязнение, снежный покров, аэральный поток, геосистема, тяжелые металлы, атмосферные выпадения, выбросы в атмосферу

SOME OF THE TRENDS OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION OF THE URALS

[1]Melchakov Y.L., [2]Semyachkov A.I., [2]Pochechun V.A., [3]Kozarenko A.E., [4]Surikov V.T., [2]Arkhipov M.V.

[1]State educational institution of higher professional education of Ural state pedagogical University, Екатеринбург, e-mail: melchakov_y_l@mail.ru;
[2]State educational institution of higher professional education of Ural state mining University, Екатеринбург;
[3]State educational institution of higher professional education of the Moscow city pedagogical University, Moscow;
[4]Federalnoe State Budget Institution of Science Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

In this paper we consider a new level of research, involving clarification of the laws of the mass migration of the elements involved in atmobiogeohimicheskie cycles. Emphasis is placed on the trends of environmental contamination. Examined three areas of the Urals: neighborhood Sredneuralsky smelter (Revda, Sverdlovsk region), South Ural Nickel Plant (Orsk, Orenburg region) and Ufaley Nickel Plant (V. Ufaley city of Chelyabinsk region). The results showed that a pronounced trend since 1991 to reduce emissions to the atmosphere most of the Ural industrial companies has not led to a natural decrease in atmospheric deposition of all analyzed relevant elements polluting the surrounding areas. Conclusions on the whole set of elements that are a priority for a certain kind of technogenesis are contradictory: some elements of the downward trend appears modules, and for others – no.

Keywords: Geochemistry of the environment, migration of chemical elements, environmental contamination, snow cover, the aerial flow geosystem, heavy metals, atmospheric deposition, emissions to the atmosphere

Около полувека назад для решения многих практических задач стало необходимым изучение атмосферной миграции химических элементов. При этом большинство ученых пользовалось традиционным в геохимии подходом: оперировали с концентрациями элементов в разных средах. Новый уровень исследований предполагал выяснение закономерностей миграции масс элементов, вовлекаемых в атмобиогеохимические циклы. Фундаментальные подходы к оценке аэральной миграции на глобальном уровне путем определения массоэлементопереноса были разработаны В.В. Добровольским [4], а на региональном уровне – Н.Ф. Глазовским [3]. Методология аэрального элементопереноса и техногенное изменение аэральных потоков химических элементов на Урале рассмотрены в монографии [13]. В настоящем сообщении акцент сделан на тренды аэротехногенного загрязнения.

Теоретические положения

Одно из важных направлений современной экологии – геохимическое – занимается

рассмотрением проблемы массообмена и миграции химических элементов между фитоценозами и окружающей средой. Этой проблеме посвящен крупный раздел известной фундаментальной работы Ю. Одума «Основы экологии» [15]. Представляется не случайным тот факт, что преемником руководителя Саванахской лаборатории Ю. Одума стал биогеохимик Д. Адриано, по инициативе и под руководством которого была издана фундаментальная монография: Biogeochemistry of Trace Metals [16]. Среди отечественных ученых необходимо отметить В.В. Ковальского [7] – создателя научной школы в области геохимической экологии.

В экологической геохимии очень важным направлением является изучение процессов возникновения первичного входного потока химических элементов в биогенный цикл. Новые запасы атомов различных химических элементов мобилизуются почвой из почвообразующих пород [8]. Скорость выветривания минералов является ключевым параметром при расчете критических нагрузок с помощью балансового метода [17]. В частности, для оценки критических нагрузок кислотообразующих соединений серы для лесных экосистем Кольского п-ова рассчитана скорость выветривания (экв./м^2 год) в почвах [9].

Другой подход предполагает анализ атмосферных выпадений в качестве входного потока химических элементов в биогеохимические круговороты. Обоснование следующее. В природно-техногенной системе (например, горно-металлургического комплекса) атмосферные выпадения являются более значимым входным потоком, чем выщелачивание химических элементов из горных пород.

Аэральный поток является одной из наиболее важных (хотя и наименее изученных) приходно-расходных частей баланса вещества в геосистеме. Расчет балансов химических элементов позволяет определить тенденции развития геосистем и соответственно прогнозировать их.

В регионах с гумидным климатом атмосферные осадки являются основным механизмом выведения аэрозолей из тропосферы. Последние могут служить ядрами конденсации водяного пара и в этом случае подвергаются воздействию конденсирующейся воды и растворенных в ней Cl^- и SO_4^{2-}. Таким образом, уже изначально облачные капли обогащаются многими водорастворимыми формами элементов. Существует и другой механизм выведения аэрозолей из атмосферы – подоблачное вымывание. При этом часть элементов, содержащихся в аэрозолях, растворяется; сами аэрозоли захватываются каплями дождя или снежинками. Известно, что эффективность вымывания определяется многими факторами, среди которых важную роль играют физические параметры осадков. Так, например, одна влажная снежинка сложной формы может содержать до 10^6 субмикронных пылевых частиц, а сухая гранулированная – всего 100–1000 [18]. Вместе оба типа вымывания дают влажное осаждение.

Меньшую роль играют «сухие» выпадения. Они вместе с «мокрыми» выпадениями образуют суммарные выпадения. Именно сведения о суммарных выпадениях как результирующем показателе аэральной миграции элементов позволяют количественно оценить существующие в природе круговороты вещества. Следовательно, суммарные выпадения – важный геохимический параметр.

Сезонное изменение состава осадков является одной из важных характеристик. При этом тренд может быть разный: рост содержания основных примесей в холодный или теплый периоды. Поэтому необходимы сезонные наблюдения. В настоящем сообщении проанализированы выпадения за зимний период.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводился в трех районах Урала: окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области), Южноуральского никелевого комбината (г. Орск Оренбургской области) и Уфалейского никелевого комбината (г. В. Уфалей Челябинской области).

Для оценки аэральной миграции в зимний период исследовался состав снежного покрова.

Пробы снежного покрова отбирались в сжатые сроки, как правило, в период, непосредственно предшествовавший началу снеготаяния. Техника снегоотбора и другие особенности методики подробно описаны в монографии [13].

На первом этапе (1982–1984 гг.) аналитика выполнена одним из авторов Ю.Л. Мельчаковым под руководством доц. Л.В. Алещукина и ст. преп. А.Е. Козаренко в лаборатории геохимии ландшафта МГПИ. Тяжелые металлы определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре С-302, ряд определений был выполнен параллельно на спектрофотометре Перкин-Элмер-403. Расчеты одного из непараметрических критериев – Т-критерия Уайта – показывают, что различие между результатами, полученными на разных приборах, являются статистически недостоверными.

На втором этапе (2002–2004 гг.) определения выполнены в Институте химии твердого тела УрО РАН с.н.с. В.Т. Суриковым (использован метод ICP-MS).

Анализ снеговых вод, отобранных в непосредственной близости от СУМЗа, выполнен в лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН.

Элементы определяли в фильтрате (использовался фильтр с порами диаметром 1–2,5 мкм),

следовательно, определены концентрации в истинных и коллоидных растворах – условно водорастворимые формы элементов.

Расчеты выпадений выполнены двумя способами: с учетом слоя снеговых вод и используя полевые измерения массы снега в кернах. Сопоставление показало большую степень близости значений.

Результаты исследования и их обсуждение

Выполненные по единой методике исследования позволили установить некоторые тренды в трех указанных районах.

Сфера воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ)

Исследования выполнены в 1982–1984 гг. [5] и в 2002–2007 гг., что позволило установить временной тренд за два десятилетия (таблица).

Выбросы СУМЗ в атмосферу в 70–80 гг. XX в. составляли около 200 тыс. т/год, затем, как и на многих предприятиях Урала, в связи со спадом производства и повышением эффективности природоохранных мероприятий, некоторым улучшением природоохранных мероприятий, выбросы существенно снизились по следующим ингридиентам: медь, цинк, свинец, кадмий, мышьяк. Главный источник загрязнения – Среднеуральский медеплавильный завод – резко сократил выбросы в атмосферу SO_2, Zn, Cu и других халькофилов, которые являются трассерами данного типа техногенеза.

Атмосферные выпадения водорастворимых форм тяжелых металлов за зимний период в зоне воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗа) кг/км^2

Объект	1982–1984 (среднее значение)	2002–2007 (среднее значение)	1982–1984 (среднее значение)	2002–2007 (среднее значение)	1982–1984 (среднее значение)	2002–2007 (среднее значение)
	Cu	Cu	Zn	Zn	Pb	Pb
г. Пшеничная (26 км к В от СУМЗа)	4,6	0,51	7,2	5,8	1,7	0,8
ст. Флюс (10 км к В от СУМЗа)	Нет данных	5,5	Нет данных	27	Нет данных	55
Промплощадка СУМЗа	Нет данных	10–20	Нет данных	100-500	Нет данных	50-150

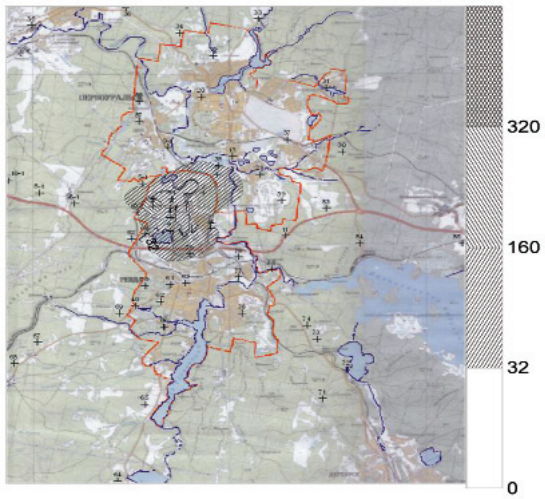
Пространственный тренд величин выпадений соответствует известной экспоненциальной зависимости, по которой происходит изменение мигрирующих масс поллютантов в сфере воздействия источника загрязнения. Представляется интересным временной тренд выпадений на значительном (26 км) удалении от СУМЗа: поступление Cu и Pb в ландшафты резко снизилось, а Zn – уменьшилось незначительно. Данное заключение хорошо корреспондируется с исследованиями Е.А. Ворончихиной [1] в уральском заповеднике «Басеги»: даже в случае резкого снижения объемов производства на предприятиях, формирующих ареал загрязнения (в который попадает территория заповедника), загрязнение снега в целом хотя и уменьшилось, но для 3-х элементов осталось существенным.

Участок г. Пшеничной может рассматриваться как фоновый [13]. Однако ранее отмечалось, что СУМЗ оказывает загрязняющее влияние на западную окраину г. Свердловска [6], т.е. на расстояние около 40 км. Сохранилась ли указанная ситуация в настоящее время? Очевидно, что без проведения специальных исследований обоснованный ответ невозможен. Очевидно, что обоснованный ответ нельзя дать без проведения специальных исследований.

Тем не менее можно сделать некоторые предположения, предварительные выводы. На основании визуальных наблюдений, проведенных одним из авторов в 2011–2012 гг. с нескольких горных вершин: в окрестностях г. Екатеринбурга и в его черте (абсолютные высоты соответственно 525 и 300–319 м) были выделены два четко оконтуренных очага атмосферного загрязнения в виде плотного пепельно-серого смога. Первый очаг: Ревдинско-Первоуральский и второй – Екатеринбургский, включающий окраинную лесопарковую зону площадью 1000 га. Важно подчеркнуть, что во время наблюдений для рассматриваемой части Среднего Урала была характерна четко выраженная антициклональная погода, а высота инверсионной «крышки» составляла 250–350 м [14]. В первом приближении можно принять приведенные факты как доказательство отсутствия существенного влияния СУМЗа на западную окраину г. Екатеринбурга. В условиях другой погоды: фронтальной с доминирующим западным ветром – ситуация с загрязнением воздуха

принципиально меняется. Соотнести два противоположных фактора: интенсивное рассеивание поллютантов при данной ветреной погоде, ведущее к уменьшению концентраций ингредиентов, и направленный перенос поллютантов в сторону Екатеринбурга, увеличивающий риск загрязнения – априори нельзя. Таким образом, ответ на поставленный вопрос при условии фронтальной погоды еще более затруднителен. Соотнести два противоположных фактора: интенсивное рассеивание поллютантов при данной ветреной погоде, ведущее к уменьшению концентраций ингредиентов, и направленный перенос поллютантов в сторону Екатеринбурга, увеличивающий риск загрязнения – априори нельзя, что означает невозможность даже предположительного вывода по данному вопросу, а, значит, нельзя сделать какой-то определенный вывод относительно рассматриваемого вопроса.

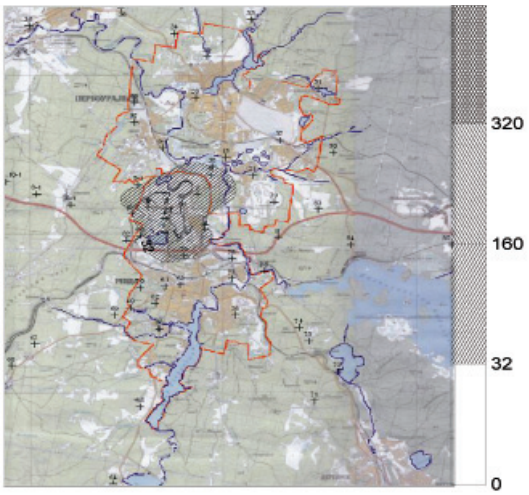
Более детальная картина распределения загрязнения тяжелыми металлами вблизи СУМЗа показана на рис. 1 и 2 [19].



- промплощадка СУМЗ;

- граница городских агломераций;

Рис. 1. Схема распределения меди в снежном покрове (растворенная форма) в мг/дм³



- гидрографическая сеть района;

+ - точка опробования.

Рис. 2. Схема распределения меди в пыли, поступающей на снежный покров в мг/кг

На рис. 1 ареал техногенного загрязнения занимает всю изучаемую площадь, где концентрация меди колеблется от 0,01 до 0,1 мг/дм^3, что превышает ПДК в 10–100 раз. Участки с максимальным загрязнением расположены в центральной части изучаемой территории. Содержание меди на этих участках превышает ПДК в 100 раз. Максимальная концентрация меди в пыли более 300 мг/кг (рис. 2). На схеме отмечается ареал загрязнения, расположившийся районе промплощадки ОАО «СУМЗ». Местоположение ядер ареалов в растворенной форме и содержания меди в пыли совпадают.

Сфера воздействия Южноуральского никелевого комбината (ЮУНК)

Исследования выполнены в 1988 г. [12] и в 2000 г., что явилось основанием для сравнения позволило установить временной тренд за 12 лет. В отмеченный период ЮУНК значительно сократил производство, как следствие – снижение до 2-х раз выбросов поллютантов в атмосферу [2]. Определены атмосферные выпадения на участке, удаленном на 1 км к югу от ЮУНК, по важнейшим для данного вида техногенеза ингредиентам: сумме солей, сульфат-иону (в пересчете на S) и водорастворимому Ni. Установлено, что выпадения сульфат-иона практически не изменились (830 и 880 кг/км^2 соответственно в 1988 и 2000 гг.). Выпадения суммы солей и Ni, вопреки отмеченной тенденции снижения выбросов в атмосферу, в 2000 г. возросли: сумма солей в 1,5 раза (с 5500 до 8000 кг/км^2), а Ni в 3,6 раза (с 5,2 до 18,8 кг/км^2).

Сфера воздействия Уфалейского никелевого комбината (УНК)

Исследования выполнены в 1982–1984 гг. [10, 11] и в 2002–2004 гг., что сделало возможным определение временного тренда за 20 лет, позволило установить временной тренд за 20 лет. Ежегодные выбросы УНК в атмосферу в 70–80 гг. XX в. превышали 120 тыс. т, затем, как и на вышерассмотренных предприятиях, выбросы существенно снизились.

Было установлено, что тенденция снижения атмосферных выпадений в 2002–2004 гг. четко проявилась только по главным элементам: сумма солей в зоне сильного (700 м от УНК) и умеренного техногенеза (5 км от УНК) уменьшилась соответственно в 3–2 раза, сульфат-иона – в 5 раз. Определенного тренда в изменении модулей тяжелых металлов не выявлено. Так, возросли в разы модули Ni, Cu и Mn, но примерно в такой же степени снизились модули Zn.

Выводы

На основании имеющихся материалов по трем районам сделано следующее заключение. Четко выраженная с 1991 г. тенденция снижения объемов выбросов в атмосферу большинством уральских промышленных предприятий не привела к закономерному снижению атмосферных выпадений всех проанализированных соответствующих элементов-загрязнителей в прилегающих зонах. Выводы по всему набору элементов, являющихся приоритетными для определенного вида техногенеза, противоречивы: для одних элементов тенденция снижения модулей проявляется, а для других – нет.

Приведенные факты интерпретируем как с чисто эмпирических, так и теоретических позиций.

1. При значительных объемах выбросов в атмосферу предприятием (десятки тыс. т/год), даже двукратное снижение этого показателя не приводит к кардинальному улучшению экологической обстановки в близлежащих районах.

2. При анализе величин атмосферных выпадений проявляется принципиальное различие главных и рассеянных элементов: поведение последних труднее прогнозировать, поскольку, в частности, для них характерна чрезвычайно высокая вариабельность как в природных, так и в техногенных условиях [13].

3. Атмосфера является большой сложной системой, в которой действуют и взаимодействуют многие факторы, определяющие величины атмосферных выпадений. На «входе» рассматриваемой системы, в сравнительно узколокализованных участках атмосферы, при существенном снижении объемов выбросов в атмосферу соответственно закономерно снижаются концентрации ингредиентов в воздухе, однако на некотором удалении от «входа» четкий временной тренд выпадений может отсутствовать, установление тренда результирующей величины затруднено.

Полученные результаты можно экстраполировать на сходные по технологии и мощности предприятия.

Список литературы

1. Ворончихина Е.А. Результаты биогеохимического мониторинга в заповеднике «Басеги» // Исследование эталонных природных комплексов Урала. – Екатеринбург, 2001. – С. 256–261.

2. Географический атлас Оренбургской области. – М.: Дик, 1999. – 96 с.

3. Глазовский Н.Ф. Ландшафтно-геохимическое значение глубокого подземного стока в аридных областях СССР: дис. … д-ра геогр. наук. – М.: МГУ, 1985. – 643 с.

4. Добровольский В.В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.

5. Добровольский В.В., Мельчаков Ю.Л. Динамика массообмена металлов в ландшафтно-геохимических условиях Среднего Урала // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР. – М.: Наука, 1990. – Т. XXI. – С. 89–99.

6. Капустин В.Г. Экологические проблемы Свердловской области. – Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 1993. – 48 с.

7. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 280 с.

8. Ковальский В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: Избр. тр. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 357 с.

9. Копцик и др. Оценка риска избыточного поступления соединений серы в наземные экосистемы Кольского полуострова // Экология. – 2008. – № 5. – С. 347–356.

10. Мельчаков Ю.Л. Миграция серы и тяжелых металлов в ландшафтно-геохимических условиях Среднего Урала: дис. … канд. геогр. наук. – М., 1985а. – 274 с.

11. Мельчаков Ю.Л. Аэрозольное поступление тяжелых металлов в южнотаежные ландшафты Среднего Урала // Экология. – 1985б. – № 2. – С. 80–82.

12. Мельчаков Ю.Л. Геохимический мониторинг в сфере воздействия никелевого комбината // Очерки по экологической диагностике. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 115–124.

13. Мельчаков Ю.Л. Роль эвапотранспирации в системе миграционных потоков химических элементов: монография. – Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2007. – 326 с.

14. Мельчаков Ю.Л. Идентификация некоторых техногенных и природных загрязнений атмосферы методом маршрутных наблюдений (на примере Урала). Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всероссийской научной конференции. – М.: МГУ, 2012. – С. 218–219.

15. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.

16. Biogeochemistry of Trace Metals / edited by Domy C. Adriano. Boca Raton, 1992. – 513 p.

17. Sverdrup H. et al. Mapping Critical Loads. – Copenhagen: UN-ECE, NMR, 1990. – 124 p.

18. Thornten J.D. Eisenreich S.J. Impact of land – use on the acid and trace element composition of precipitation in the North Central USE // Atmosph. Environment. – 1982. – Vol. 10. – № 8. – P. 1945–1955.

19. Семячков А.И., Парфёнова Л.П., Почечун В.А., Копёнкина О.А. Теория и практика ведения локального экологического мониторинга окружающей среды меднорудных горно-металлургических комплексов / под ред. А.И. Семячкова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. – 224 с.

References

1. Voronchikhina E.A. The results of biogeochemical monitoring in reserve «Basegi». Study of reference of natural complexes of the Urals. Ekaterinburg, 2001, pp. 256–261.

2. Geographic Atlas of the Orenburg region. Moscow, Dick, 1999. 96 p.

3. Glazov N.F. Landscape-geochemical importance of deep groundwater flow in the arid regions of the USSR. Dis. ... Doctor of geographical Science. Moscow, Moscow State University, 1985. 643 p. 4. Dobrovolsky V.V. Geography of trace elements: Global scattering. Moscow, Thought, 1983. 272 p.

5. Dobrovolsky V.V., Melchakov J.L. The dynamics of mass transfer of metals in the landscape-geochemical conditions of the Middle Urals. Proceedings of the Biogeochemical Laboratory of the USSR. Moscow, Nauka, 1990. Vol. XXI, pp. 89–99.

6. Kapustin V. Environmental problems of the Sverdlovsk region. Ekaterinburg, Ural. State. ped. University Press, 1993. 48 p.

7. Kowalski V.V. Geochemical ecology. Moscow, Nauka, 1974. 280 p.

8. Kowalski V.V. Problems of biogeochemistry of trace elements and geochemical environment. Izbr.tr. Moscow, Russian Agricultural Academy, 2009. 357 p.

9. Koptsik, etc. The risk assessment of excess revenues of sulfur compounds in the terrestrial ecosystems of the Kola Peninsula. Ecology, 2008, no. 5, pp. 347–356.

10. Melchakov J.L. Migration of sulfur and heavy metals in the landscape-geochemical conditions of the Middle Urals. Dis. ... Candidate of geographical of Sciences. Moscow, 1985a. 274 p.

11. Mel'chakov J.L. Aerosol delivery of heavy metals in the southern taiga landscapes of the Middle Urals. Ecology, 1985b, no. 2, pp. 80–82.

12. Melchakov J.L. Geochemical monitoring in the area of the impact of the nickel plant. Essays on environmental diagnostics. Sverdlovsk, Ural Branch of the USSR, 1991, pp. 115–124.

13. Melchakov J.L. The role of evapotranspiration in the migration of chemical elements: monograph. Yekaterinburg, Ural. State. ped. University Press, 2007. 326 p.

14. Melchakov J.L. Identification of some man-made and natural pollution of the atmosphere by the route observations (for example, the Urals). Landscape Geochemistry and Soil Geography (to the 100-anniversary M.A. Glazovskoy). Reports of the Scientific Conference. Moscow State University, Moscow, 2012, pp. 218–219.

15. Odum J. Fundamentals of Ecology. Springer-Verlag, 1975. 740 p.

16. Biogeochemistry of Trace Metals / edited by Domy C. Adriano. Boca Raton, 1992. 513 p.

17. Sverdrup H. et al. Mapping Critical Loads. Copenhagen, UN-ECE, NMR, 1990. 124 p.

18. Thornten J.D., Eisenreich S.J., Impact of land – use on the acid and trace element composition of precipitation in the North Central USE. Atmosph. Environment, 1982. Vol. 10, no. 8, pp. 1945-1955.

19. Semyachkov A.I., Parfenova L.P., Pochechun V.A., Kopenkina O.A. Theory and practice of doing a local environmental monitoring copper ore mining complexes. Ed. AI Apples, pears. Ekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences Institute of Economics, 2008. 224 p.

Рецензенты:

Литовский В.В., д.г.н., заведующий сектором размещения и развития производительных сил, Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург;

Болтыров В.Б., д.г.-м.н., профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 06.11.2013.