

УДК 581.192

ИНДИКАЦИЯ ДАЛЬНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ НОВОЛИПЕЦКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА ПРИЛЕГАЮЩУЮ ТЕРРИТОРИЮ (ПО РЕАКЦИЯМ КЛЕНА ПЛАТАНОЛИСТНОГО)

© 2005 г. О.В. Попова, А.И. Федорова

Воронежский государственный университет

Исследование вопроса дальности и интенсивности влияния Новолипецкого металлургического комбината, выбросы которого составляют 95% от загрязнения основных промышленных предприятий г. Липецка, актуальная тема для региона. Приводятся данные количественного анализа тяжелых металлов в листовых пластинах клена остролистного (*Acer platanoides*), собранных на территории Липецкой области на различном расстоянии от источника загрязнения, в направлении преобладающего ветра. Биоиндикационный аспект рассмотрен на примере поражения и омертвления листовых пластин. Методика определения некрозов и хлорозов листьев модернизирована. Инструментальная погрешность сведена к 1%. В результате, показано, что степень накопления металлов территориально совпадает с зонами поражения листьев.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых специфичных для металлургического производства загрязнителей являются тяжелые металлы (ТМ). Их содержание в атмосферном воздухе и почвенном покрове нормируется с помощью сравнения валовых значений с нормами ПДК. Биологическое же действие металлов определяется ответной реакцией организмов в природных системах. В ряду научных методов, с помощью которых возможно объективное исследование биологических объектов, (растений в частности), важное место занимают как количественный химический анализ, так и биоиндикационные способы оценки. Применение их в комплексе, по нашему мнению, может дать наиболее полное представление о воздействии того или иного антропогенного фактора и степени его опасности для природного компонента.

В статье представлены материалы количественного анализа ТМ в листовых пластинах клена остролистного, собранных на территории Липецкой области на различном расстоянии от источника за-

грязнения – Новолипецкого металлургического комбината, в направлении преобладающего ветра. Изучался также процент поражения и омертвления листовых пластин.

Основной задачей наших исследований было определение дальности и интенсивности распространения ТМ от источника. Основанием для выбора ряда анализируемых металлов (свинец, кадмий, цинк, медь) стал тот факт, что лабораторией ЦГСЭН по Липецкой области регулярно проводится анализ атмосферного воздуха на содержание этих компонентов как приоритетных среди других ТМ. Данная группа загрязнителей интенсивно аккумулируется в почвенных горизонтах вблизи металлургических производств[6].

Кс – коэффициент концентрации химического элемента. Определяется отношением его реального содержания в почве (С) к фоновому (Сф) [3].

$$K_c = C/C_f$$

Специфичность тяжелых металлов заключается в том, что по степени насыщения ими тканей расте-

Таблица 1

Сводная таблица концентрирования тяжелых металлов в почве

Источники загрязнения	Тип производства	Коэффициент концентрации (Кс)	
		2-10	Более 10
Черная металлургия	Производство легированных сталей	Кобальт, молибден, висмут, вольфрам	Свинец, кадмий, хром, цинк
	Железорудное производство	Свинец, серебро, мышьяк	Цинк, вольфрам, кобальт, ванадий

ний их основные органы располагаются следующим образом:

Корень > стебель, листья > семена > плоды

Поглощение тяжелых металлов растениями происходит одновременно с поступлением биогенных веществ через корневую систему или, как в случае менее подвижных ионов, непосредственно через листья и хвою.

Исследования некоторых авторов [4,9,10,13] показали, что содержание химических элементов в растительной ткани зависит как от концентрации этих элементов в питательной среде, так и от индивидуальных свойств растения. Анализ содержания элементов в золе листьев деревьев, которые растут в питательной среде с одинаковыми геохимическими характеристиками, доказывает, что практически безбарьерными, относительно тяжелых металлов, в особенности высокотоксичных свинца и цинка, являются лишь каштан конский и тополь пирамидальный [2]. Клен остролистный обладает определенными механизмами детоксикации [1], а потому, аккумулятивные свойства его, как объекта наблюдения, ограничены. Тем не менее, этот вид наиболее широко представлен на исследуемом участке, обладая большими площадями листовых пластин, наиболее подходит для другого этапа исследования – биоиндикации хлорозов и некрозов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Образцы листьев клена остролистного были отобраны на территории заранее запланированных трансект, на расстоянии 2,5; 5; 10; 20; 40 и 60 км от источника загрязнения в юго-западном направлении от города Липецка, параллельно трассе Липецк-Усмань. Размер закладываемой площадки – 50х50 м. Средняя проба растений для анализа собиралась из 70 листовых пластин особей *Acer platanoides*, произрастающих в разных частях кроны [11]. С целью достижения единообразия материала сбор проводился с экземпляров одного возраста в середине сентября 2004 года. Осадки отсутствовали 12 дней до сбора.

Исследуемая территория расположена южнее городской черты. Первая точка заложена на выезде из города, в 2,5 километрах от месторасположения основных промышленных труб. Трансекта была выделена в центре сквера, который представляет собой посадки лиственных деревьев с доминированием клена платанолистного, переходящие в искусственный хвойный лес, окружающий частный сектор поселка Тракторостроителей. Средний возраст исследуемого вида около 20 лет. Сбор во всех трансектах проводился с деревьев примерно этого возраста. Сквер расположен в 100 метрах от проход-

ной тракторного завода, на пересечении 2 городских магистралей. Удаленность территории сбора от автодороги – 70 метров.

Вторая точка расположена в 100 метрах от трассы Липецк-Усмань и в 5 км от источника загрязнения. Является частью Ленинского лесничества. В верхнем ярусе здесь преобладает сосна, второй ярус представлен лиственными породами, в которых клен остролистный – субдоминант. Третья точка имеет характеристики, аналогичные второй, расположена в 10 км от источника загрязнения на въезде в с. Фашевка и также является частью Ленинского лесхоза. Четвертая и пятая точки имеют схожие между собой характеристики. Обе они закладывались в защитных посадках в 1,5-2 км от трассы Липецк-Усмань. Четвертая в районе с. Сошки, пятая между селом Октябрьское и станцией Дрязги. Шестая точка, расположена на расстоянии 60 км от города на въезде в Первомайский заказник, в 2-ух км от Семеновского кордона. Она имеет сходные характеристики со второй и третьей точками, т.к. клен здесь субдоминант второго яруса. А доминирующей породой является сосна.

Автором производился сбор образцов и подготовка проб к анализу. Использовалась методика, разработанная ВНИИ минерального сырья им. Федоровского, по определению металлов в растениях, аттестованная в соответствии с ОСТ-42-08-205-81. [14]

По результатам сбора листового материала, на базе лаборатории областного ЦГСЭН, был произведен количественный анализ, выполненный атомно-адсорбционным методом на приборе AA-6800 фирмы SHIMADZU. Метод основан на деструкции органической основы растений способом сухой термической минерализации при контролируемом температурном режиме и последующем растворении минерализата в кислотах: азотной, соляной, фтористой.

Для определения поражения и омертвения тканей листовых пластин при антропогенном загрязнении воздушной среды была взята за основу методика оценки по проценту пораженной ткани [16]. Был произведен сбор листового материала в количестве 70 листьев с каждой точки. Причем, трансекты были те же, что и для сбора образцов по определению тяжелых металлов. Затем методика была несколько модернизирована с помощью программного обеспечения персонального компьютера. Суть предлагаемой методики состоит в следующем:

- 1) листовая пластина помещается на модель сканера, сканируется;
- 2) изображение импортируется в программу Adobe Photoshop 7.0.;
- 3) с помощью функции Histogram в диалоговом окне Image, определяется площадь данного листа в

пикселях (безразмерная единица разрешения экрана компьютера);

4) с помощью инструмента Magic wand tool выделяем зеленые непораженные части листа. Программа делает это автоматически при касании стрелкой мышки основного зеленого цвета, который определяется за непораженный хлорозом или некрозом участок;

5) С помощью того же инструмента Histogram в диалоговом окне Image определяем площадь непораженного участка в пикселях;

6) путем математических вычислений устанавливаем площадь, а затем и процент пораженной ткани.

Данный метод позволяет определить степень хлорозов и некрозов с высокой точностью (инструментальная погрешность менее 1%) и большей скоростью, чем с помощью торсионных весов и кальки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам анализа была проведена статистическая обработка материалов и построены графики содержания каждого из элементов в листе.

Свинец относится к элементам средней концентрации в растениях. Как видно на рис. 1 максимальные значения свинца в листьях отмечаются в первой трансекте, в наибольшей близости к комбинату, и составляют в среднем 5,35 мг/кг. Минимальное содержание в пробах наблюдается на расстоянии 40 км от источника загрязнения. Свинец характеризуется широким спектром вызываемых им токсических эффектов на различных представителях биоты. Механизм его действия обусловлен ингибированием ферментов детоксикации ксенобиотиков. Воздействие свинца приводит к биохимическим сдвигам, в частности, к нарушению функции ряда митохондриальных или цитозольных ферментов (гемосинтезазы, копропорфириногеноксидазы, омега-аминолевулинатдегидратазы); свинец угнетает образование цитохрома P-450 и цитохромоксидазы.[17]. Вместе с тем, следует отметить, что, поскольку неорганические соединения свинца в почве образуют нерастворимые соли и комплексы с различными анионами, то они обычно через корневую систему в наземные части растения не попадают.

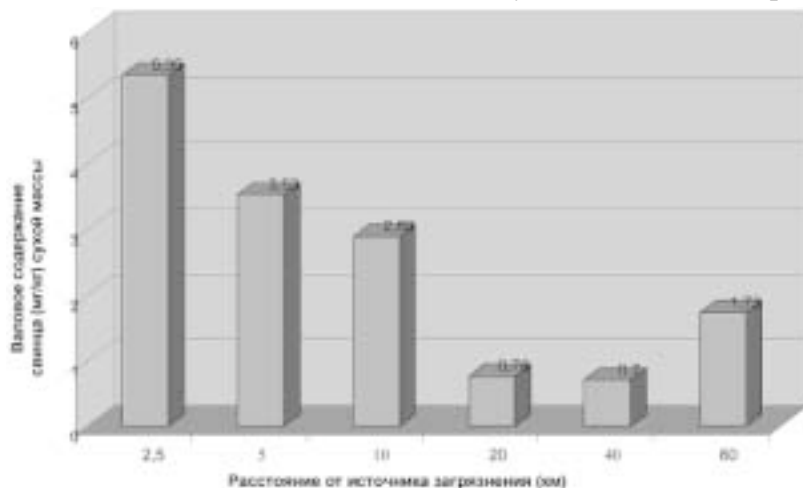


Рис. 1. Валовое содержание свинца в листовых пластинах клена платанолистного по мере удаления от источника загрязнения.

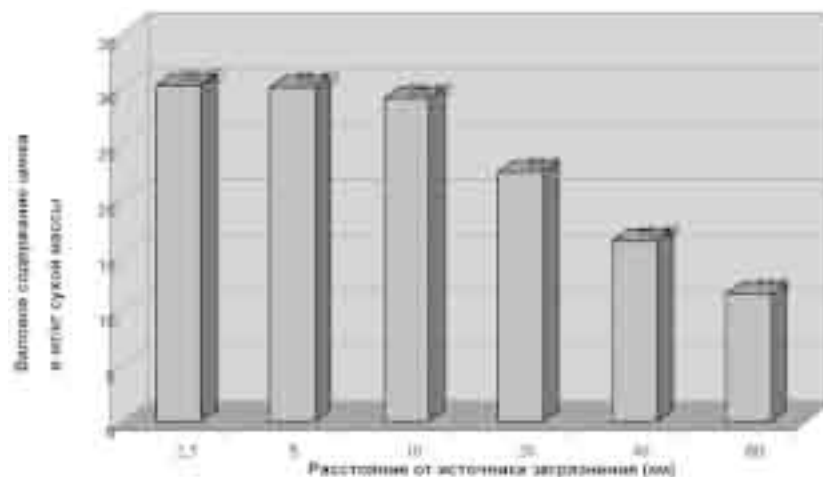


Рис. 2. Валовое содержание цинка в листовых пластинах клена платанолистного по мере удаления от источника загрязнения.

Большинство авторов склоняются к мнению, что аэральный путь загрязнения является основным для зеленых частей растения.

Для того чтобы выяснить насколько опасной является концентрация свинца 5,35 мг/кг, оказавшаяся в наших исследованиях максимальной, мы провели сравнение с аналогичными исследованиями других авторов. Оказалось, что в условиях города (а первая транссекта расположена на выезде из города) концентрация свинца в листьях клена остролистного составляет максимально около 30 мг/кг [6,8,12]. Фоновые же значения содержания свинца в листьях клена остролистного для промышленных городов составляют (0,6 – 2 мг/кг) [5,7,15,17] Таким образом, на расстоянии 20 км от источника загрязнения концентрация свинца в листе приближается к фоновой. Некоторое увеличение значения в последней точке на расстоянии 60 км до 1,73 мг/кг может быть связано с близостью другого населенного

пункта, имеющего промышленное производство г. Усмани Липецкой области.

Таким образом, загрязнение свинцом значительно в радиусе 20 км от источника загрязнения, но не превышает опасных пределов, за которые считают такую концентрацию элемента, которая опасна при употреблении растительной продукции человеком в пищу, (она превышает 18 мг/кг [18]).

Цинк относится к сильно накапливаемым растениями элементам и характеризуется относительно равномерным распределением по всем органам и тканям. Максимальная концентрация цинка в наших исследованиях, как и в случае со свинцом, приурочена к первой транссекте и составляет 30,25 мг/кг (рис. 2). Минимальное же значение отмечается на максимальном удалении от источника и составляет 11,5 мг/кг. Значения концентраций убывают на всем протяжении точек исследования по мере удаления от комбината. Радиус уверенного загрязнения (где

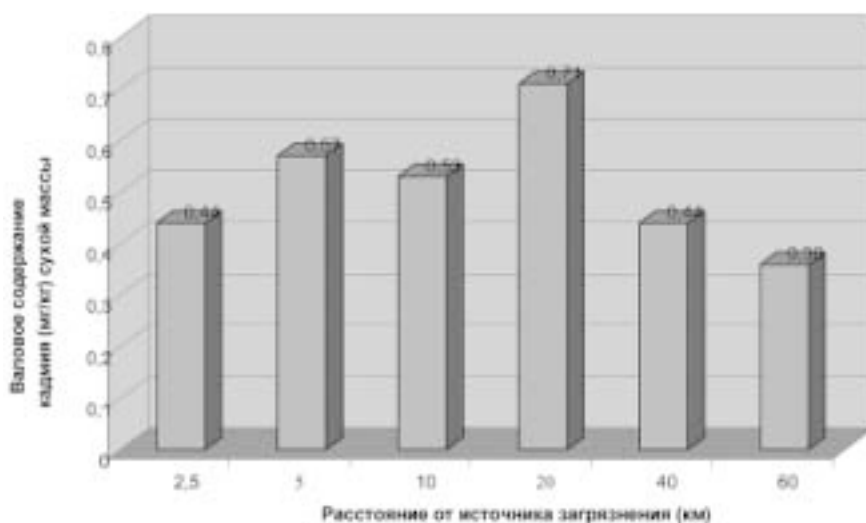


Рис. 3. Валовое содержание кадмия в листовых пластинах клена платанолистного по мере удаления от источника загрязнения.

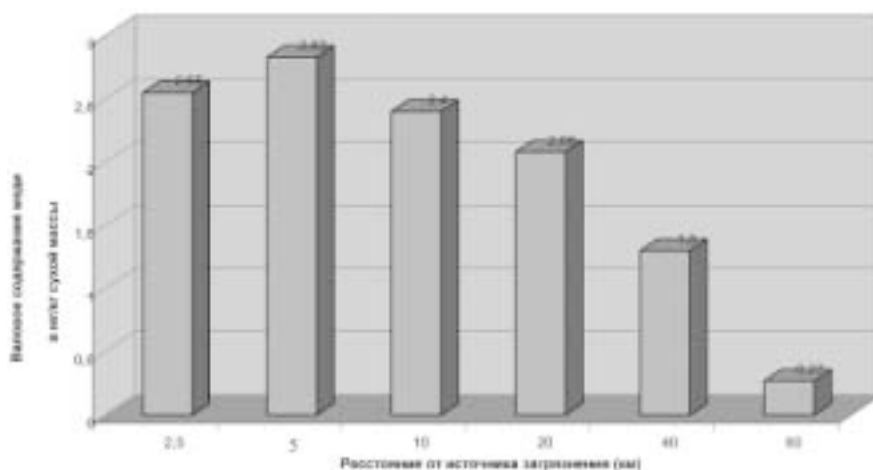








Рис. 4. Валовое содержание меди в листовых пластинах клена платанолистного по мере удаления от источника загрязнения.

Результаты исследования повреждения листовых пластин клена остролистного на различном расстоянии от источника загрязнения

Расстояние от источника загрязнений	% поврежденной ткани	Характер повреждений
2, 5 км	19,41	
5 км	50,94	
10 км	21,22	
20 км	16,55	
40 км	9,34	

60 км	5,15	
-------	------	--

разница концентраций загрязнителя невелика) составляет также как и в случае со свинцом 20 км.

Анализируя литературные данные [19,20,] можно констатировать о конкурентном поступлении ионов кадмия и цинка в зеленые части растения. Они имеют одинаковую валентность и способны образовывать сходные соединения. По данным некоторых авторов [5,13] решающую роль в накоплении этих элементов играет корневое поступление из почвы. В нашем случае оно не имеет решающего значения, так как исследуемая территория не является районом химических аномалий. Анализируя диаграмму содержания кадмия в листьях клена на различном удалении от комбината мы не находим линейной зависимости концентрации от расстояния. На это может быть несколько причин. Известно, что цинк ингибирует поступление кадмия в клетку, посредством системы переносчиков. [13] Кроме того, основная масса соединений кадмия содержится в сточных водах металлургического производства, а потому аэральный путь поступления кадмия минимален.

Тем не менее, наблюдается линейная зависимость концентрации цинка при удалении от источника загрязнения, где так же, как и в случае со свинцом, основная зона загрязнения располагается в радиусе 20 км.

Анализируя рис. 4 можно отметить, что максимальная концентрация меди – 2,83 мг/кг приходится на листву, собранную на расстоянии 5 км от источника загрязнения. Далее по мере удаления от комбината концентрации меди снижаются вплоть до минимального значения 0,27 мг/кг. Медь относится к группе слабого накопления и среднего захвата растениями. [5]. По некоторым литературным данным она накапливается, в основном, в стеблях и листьях растений. Можно предположить, что аэральный путь поступления меди на поверхность листовых пластин значителен. Тогда, согласно графику, влияние комбината как загрязнителя медью прослеживается в радиусе 40 км.

Результаты биоиндикационного обследования территории приведены в таблице 3.

Анализируя результаты исследования листовых пластин клена остролистного, можно констатировать, что воздушное загрязнение имеет значительный характер практически на всей исследуемой территории. Это связано с переносом разного рода загрязнителей на различное расстояние. В первой трансекте, на расстоянии 2,5 км. от промышленной площадки предприятия преобладают точечные хлорозы и некрозы, которые, скорее всего, связаны с выпадением осадков, содержащих загрязнители, чаще всего H_2SO_4 . Количество пораженных тканей составляет почти 20% от общей площади листовых пластин. Также наблюдаются межжилковые некрозы. Максимальное поражение листовых пластин на всей площади исследования приходится на деревья, растущие на расстоянии 5 км от источника выбросов. Почти 50% фотосинтезирующих тканей поражено. К бигеохимическому поражению добавляется паразитарное. Это обусловлено характером рассеивания выбросов на расстоянии 20-40 высот труб.

Далее по мере удаления от комбината степень повреждения листовых пластин линейно снижается, достигая своего минимального уровня – 5,15% на расстоянии 60 км от городской черты. Точечный некроз постепенно сменяется на межжилковый, особенно характерный для участков, находящихся на расстоянии 10 и 20 км от источника загрязнения. Доля точечного некроза здесь ниже, имеет эпизодический характер. Зато проявляется редукция отдельных лопастей листовой пластины. На расстоянии 40 км. проявляется краевой некроз и в меньшей степени межжилковый. Физиологическое состояние листовых пластин на расстоянии 60 км от городской черты можно назвать удовлетворительным, негативным признаком можно назвать мелколистность произрастающих на этом участке особей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из основной задачи нашего исследования – определения дальности и интенсивности влияния металлургического производства, на основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

По мере удаления от комбината на основе результатов химического анализа листовых пластинок клена остролистного можно условно выделить 3 зоны загрязнения тяжелыми металлами.

- зона наиболее интенсивного загрязнения (0-5 км);
- зона интенсивного загрязнения (5-10 км);
- зона воздействий средней интенсивности (10-40 км);
- зона снижения загрязнения (40-60 км).

На основе биоиндикационных исследований можно также условно выделить зоны видимых неблагоприятных воздействий, которые не обязательно являются результатом осаждения тяжелых металлов, но всей совокупности загрязнителей металлургического производства, особенно окислов серы, которые превращаются в серную кислоту.

Зона первичных повреждений. Территориально совпадает с подфакельной зоной высоких труб. Характеризуется преобладанием точечных хлорозов и некрозов. Тип повреждений связан с выпадением осадков, содержащих соединения, способные вызвать разовые моментальные повреждения (H_2SO_4 и HNO_3)

Зона максимальных повреждений. Характеризуется сильными физиологическими повреждениями листовых пластинок. Некроз имеет не точечный, а скорее пятнистый характер, не только биогеохимического, но и паразитарного происхождения. Его площадь составляет около 50%. Возникновение такой зоны на расстоянии 5 км от источника может быть связано с переходом некоторых газообразных загрязнителей (SO_2 и NO_2) в жидкую фазу и наиболее интенсивным выпадением H_2SO_4 и HNO_3 с осадками. Исследования в радиусе 2,5 – 10 км. требуют более детального обследования для установления границ зоны максимальных повреждений.

Зона средних повреждений. Составляет расстояние 10-20 км от источника загрязнения. Повреждения имеют характер межжилкового некроза с численным значением около 20%. Проявления паразитарного некроза редки.

Зона эпизодических повреждений. При удалении от источника загрязнения на 40-60 км выраженные некрозы и хлорозы проявляются в меньшей степени и составляют от 5 до 10%.

Таким образом, мы установили следующее:

1) Результаты биоиндикации поражения листовых пластинок наиболее распространенного на исследуемом участке клена платанолистного в рамках целевого исследования совпадают с данными, полученными по накоплению ТМ в листовых пластинках. Определенную корректировку могут внести продукты превращений окислов серы и азота, ха-

рактерные для выбросов металлургических заводов, что требует дополнительного исследования.

2) Дальность выраженного влияния предприятия составляет порядка 40 км. Но и на расстоянии 60 км, несмотря на то, что основные концентрации металлов приближаются к фоновым значениям, физиологическое состояние зеленых частей исследуемого объекта можно назвать лишь удовлетворительным. Очевидно, дальность влияния столь крупного производства на прилегающую территорию превышает 60 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Биогеохимические особенности загрязнения территории Киева. Любая Н.Г., Полиновский В.В., Шевченко Е.Н и др. Украинский государственный геологоразведочный институт, Киев,
3. Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука. 1993. – С. 126
4. *Глазовская М.А.* // Техногенные потоки веществ в ландшафтах и состояние экосистем. М., 1981. С. 7-41.
5. Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды и природоохранной деятельности в Республике Саха (Якутия) в 2001 году”- Якутск. 2002.- С. 26-123.
6. *Захаров В.Д., Лагунов А.В.* Основные направления прикладных экологических исследований сообществ животных и растений в Челябинской области // Проблемы экологии Южного Урала. 1995. № 1 – С. 59-62.
7. *Каббата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 498 с
8. *Кадацкий В.Б., Васильева Л.И., Тановицкая Н.И., Головатый С.Е.* Распределение форм тяжелых металлов в естественных ландшафтах Беларуси. / Экология, 2001, №1, с. 33-37
9. *Кашин В.К., Иванов Г.И.* Особенности накопления свинца в растениях бассейна озера Байкал / Экология №4, 1998, с. 316-318
10. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 176с.
11. *Крищенко В.П.* Методы анализа растениеводческой продукции. – М.: Колос, 1983. – 314 с.
12. *Лимин Б.В., Маймулов В.Г., Мясников И.О., Пацюк Н.А., Скальный А.В., Чернякина Т.С.* Гигиеническая диагностика загрязнения среды обитания солями тяжелых металлов. СПб.: СПбГМА им. И.И. Мечникова. 2003. – 123 с.
13. *Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В.* Экологические основы аккумуляции тяжелых

металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара:Издательство “Самарский университет”.1997. – 215 с.

14. Методика определения металлов в растениях // Всесоюзный научно – институт минерального сырья им. Федоровского. – М., 1999. 24 с.

15. Ревич Б.А., Саен Ю.Е. Эколого-геохимическая оценка окружающей среды промышленных городов. В кн.: Урбозкология/Научн. Совет по пробл. биосферы. М.:Наука.1990. – 240 с.

16. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений.- М.; Гуманит. Изд центр ВЛАДОС, 2001. – С. 129.

17. Феник С.И., Трофимьяк Т.Б., Блюм Я.Б. Механизмы формирования устойчивости растений к тяжелым металлам // Усп. совр. биол., 1995. Т. 115, вып. 3. С. 261-275.

18. Худoley В. В., Мизгирев С.В. Экологически опасные факторы. Сп-Б. PUBLISHING HOUSE.1996. С 23.

19. Catalado D.A., Garland T.S., Wildung R.E. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants // Plant physiol., 1983. Vol. 73. P. 844-848.

20. Jarvis S.C., Jones L.H.P., Hopper M.J. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. // Plant and soil, 1976. Vol. 44. P. 179-191