

Егошина Т.Л., Шихова Л.Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства им. проф. Б.М. Житкова (ГНУ ВНИИОЗ РАСХН), г. Киров

СВИНЕЦ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Приведены результаты изучения содержания свинца в почвах и растениях фоновых и загрязненных территорий северо-востока европейской части России. Показано, что фоновые территории имеют низкое содержание поллютанта в этих природных объектах. Загрязнение на данной территории носит локальный характер, присутствуя в промышленных зонах, вокруг городов, автодорог.

Введение

К числу наиболее опасных загрязнителей атмосферного воздуха, почвы, воды, растительности, а в дальнейшем – животных и человека относится свинец – распространенный компонент выбросов многих предприятий разных отраслей промышленности и транспорта. Однако полной картины распространения загрязнения этим металлом территории России нет. На фоновое содержание свинца в почвах и растениях существенно влияют конкретные геохимические особенности территорий. На северо-востоке европейской части России такие исследования весьма немногочисленны, разрозненны, страдают отсутствием комплексного подхода к проблеме. По оценке Н.А. Буркова [1], объем антропогенного поступления свинца в окружающую среду Кировской области, расположенной в этом регионе, значителен и составляет 451,64 т/год. Источники поступления и процессы миграции элемента недостаточно изучены и поэтому непредсказуемы. Контроль над накоплением этого тяжелого металла в окружающей среде осложняется отсутствием хорошо разработанных и проверенных на практике норм его предельно допустимых концентраций в почвах и растениях. Существенные различия в природных условиях разных регионов не позволяют использовать единые градации степени загрязнения. В этой ситуации главным критерием сравнения должны выступать фоновые концентрации элемента в почвах и растениях на изучаемой территории.

Материалы и методы. Изучение содержания свинца в почвах и растениях велось с 1994 по 2007 г. на фоновых и техногенно-загрязненных территориях северо-востока европейской территории России (Кировская об-

ласть, Республика Коми). Фоновыми считались территории, удаленные от дорог, населенных пунктов и промышленных зон не менее чем на 3-5 км. Загрязненными считали территории вокруг городов, населенных пунктов, промышленных предприятий, вблизи автодорог. Исследовались основные типы почв региона (подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные, аллювиальные) и дикорастущие растения, распространенные на данной территории. Сбор растительных проб по видам сопровождался описанием почвенных разрезов и отбором почвенных проб по горизонтам до глубины 150 см. Содержание свинца определяли в средней пробе, составленной из шести повторностей. Изучение сезонной динамики содержания подвижных соединений свинца в почвах велось с 1998 по 2001 г. на ключевых участках в разных природно-климатических зонах региона под лесной луговой и сельскохозяйственной растительностью. Отбор проб производился 3-5 раз за вегетационный период с 3-8-кратной повторностью из трех верхних горизонтов почв. Подвижные соединения свинца извлекались из почвы ацетат-аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Определение валового и подвижного свинца проведено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе «Спектр-5-3». Описание почв и фитоценозов, сбор почвенных и растительных проб, их химический анализ проведены согласно стандартным методикам [2, 3, 4]. Статистическая обработка полученных результатов проведена с применением пакета стандартных программ STATGRAPHICS.

Результаты и обсуждение. Валовое содержание свинца в фоновых почвах обследованного региона находится на уровне кларка в

Таблица 1. Содержание подвижных соединений микроэлементов в органогенных горизонтах почв (мг/кг)

Дерново-подзолистые почвы			Серые лесные почвы	Аллювиально-дерновые почвы
лес	пашня	луг		
0,98±0,07	2,04±0,16	1,67±0,34	1,56±0,18	1,16±0,15
0,20-3,18	0,75-5,80	0,45-4,02	0,42-2,70	0,11-3,20

почвах Русской равнины – 2,6...43,0 мг/кг. В пахотных горизонтах суглинистых сельскохозяйственных почв содержится 26...37 мг/кг Рb. Наблюдается аккумуляция валового свинца в верхних горизонтах, очевидно, в связи с органическим веществом, о чем упоминают и другие исследователи [5, 6]. Кроме того, это может быть связано и с антропогенным поступлением Рb, которое приняло в последнее время глобальные масштабы [7]. Распределение валового свинца в почвенных профилях характеризуется как элювиально-иллювиальное.

Доля подвижных соединений Рb в валовом содержании максимальна в гумусово-аккумулятивной части профиля, особенно целинных почв (4...23%), и снижается с глубиной. Органогенные горизонты фоновых почв региона содержат незначительное количество подвижного свинца (таблица 1).

Содержание подвижных соединений свинца повышено в пахотных почвах, что, вероятно, связано с антропогенным поступлением Рb при их сельскохозяйственном использовании.

Содержание свинца в растениях, произрастающих в незагрязненных областях, по данным разных авторов, опубликованным в 1970-1980 гг., 0,05-3,0 мг/кг сухой массы и 2,7-94,0 мг/кг золы [7]. Фоновые уровни содержания свинца в кормовых растениях составляют в среднем для трав 2,1 мг/кг и для клевера 2,5 мг/кг на сухую массу [8].

В последнее время свинец привлекает большое внимание как один из главных компонентов химического загрязнения. По степени токсического действия на окружающую среду свинец относится к наиболее опасным поллютантам [9].

Поэтому контроль поступления и накопления свинца в природных объектах исключительно актуален. Однако используемые при этом предельно допустимые концентрации (ПДК) свинца существенно различаются в разных стра-

нах, часто не учитывают конкретные геохимические условия территорий. В этой сложной ситуации, по нашему мнению, именно региональные фоновые концентрации тяжелых металлов (ТМ), особенно их подвижных форм, могут выступать в качестве критерия сравнения.

Лабильные формы ТМ, и в частности свинца, представляют наибольшую опасность, так как характеризуются высокой биохимической активностью и интенсивно накапливаются в органическом веществе.

На территории северо-востока европейской России загрязнение тяжелыми металлами носит не сплошной, а локальный характер, концентрируясь в основном вокруг крупных городов, населенных пунктов и железнодорожных станций [10]. Это тем более опасно, что здесь живет основная часть населения и производится значительная часть сельскохозяйственной продукции. Почвенный покров вокруг промышленной зоны г. Кирова загрязнен свинцом. Содержание элемента выше фоновых для дерново-подзолистых почв, в некоторых случаях выше ПДК (таблица 2).

Наиболее уязвимы к воздействию загрязнения территории аккумулятивных ландшафтов, в том числе пойм. Это тем более опасно, что водные экосистемы часто стоят в начале трофических цепей, являются мощными регуляторами водного баланса и климата иногда огромных территорий. Загрязнение таких ландшафтов тяжелыми металлами может привести не только к

Таблица 2. Содержание подвижных соединений Рb в почвах промышленных зон (мг/кг)

Территория завода по обработке цветных металлов	
Среднее	2,22
Колебания	1,0-6,6
Территория городских очистных сооружений	
Среднее	1,24
Колебания	0,26-2,1
Фон	1,86
ПДК	6

снижению биоразнообразия окружающего животного и растительного мира, но и через какое-то время повлиять на экологическое равновесие всей прилегающей территории [11].

Особенности водно-воздушного режима почв и периодическое привнесение нового материала в периоды половодий способствуют аккумуляции в поймах и ТМ. Поэтому загрязнение пойменных почв недопустимо.

С точки зрения воздействия выбросов предприятий на окружающие ландшафты показательны почвенные профили в поймах рек вблизи городов и промышленных зон (табл. 3).

Значения содержания элемента не только в несколько раз превышают фоновые показатели, но в некоторых случаях и выше ПДК. Свинец может свободно проникать в грунтовые воды и далее в речную сеть. Наибольшее количество свинца аккумулируется в гумусовых горизонтах, вероятно, в комплексах с органическим веществом (рис. 1).

Повышенные содержания Pb отмечены не только в аллювиальных, но и в лесных (до 7,0

мг/кг) и пахотных (до 5,8 мг/кг) почвах вблизи промышленных зон.

Токсичное действие Pb на растения связано в основном с нарушением фундаментальных биологических процессов, таких как фотосинтез, рост и т. д. Однако считается, что свинец по сравнению с другими ТМ представляет меньшую опасность для растений. Ионы свинца, поступающие в почву, быстро теряют подвижность вследствие образования малорастворимых соединений (фосфатов, карбонатов, хроматов и др.) и за счет поглощения органическими и минеральными коллоидами и более прочного удержания по сравнению с другими ТМ [12]. Невысокая фитотоксичность свинца объясняется также наличием в растениях хорошо действующей системы инактивации [13, 14]. Тем не менее, очень высокие концентрации данного элемента в почвах могут значительно ингибировать рост и развитие растений [15, 16, 17]. Существует и мнение о том, что свинец в невысоких дозах (до 1000 мг/кг сухой почвы) оказывает на рост растений стимулирующее действие [7].

Величины ПДК свинца для растений лежат в довольно широком интервале – от 0,5–1,2 мг/кг [18] до 10,0–20,0 мг/кг [19]. Нормальное содержание свинца в надземных органах трав составляет, по данным исследователей, от 1,5 мг/кг до 40,0 мг/кг сухой массы [7].

Для изучения изменения элементного состава растений под влиянием техногенного загрязнения пробы отбирались на тех же техногенных стационарах, что и почвы. В результате исследования выявлены достоверные отличия содержания свинца в фитомассе растений фоновых и техногенных местообитаний (табл. 5). Но абсолютные значения концентрации свинца в фитомассе различных видов растений, произрастающих в одном фитоценозе, отличаются. Вероятно, величина аккумуляции свинца определяется видовой специфичностью растения. Содержание свинца даже у разных особей одного вида растений значительно колеблется. Величины концентраций поллютантов в фитомассе растений техногенных территорий варьировали в очень широком диапазоне, изменяясь у одного вида на 1-2 порядка. Концентрации тяжелых металлов у растений одного вида фоновых местообитаний обычно

Таблица 3. Содержание подвижных соединений Pb в пойменных почвах (мг/кг).

Глубина, см	Pb
Фоновая территория	
0-3	1,00
3-14	2,80
14-25	1,82
25-91	0,75
91-113	1,25
113-134	1,00
Район очистных сооружений	
0-3	11,40
3-11	3,10
11-28	3,00
28-59	1,70
Район ТЭЦ	
0-15	4,50
15-30	1,20
Промышленная зона	
0-4	4,4
4-25	4,5
25-33	4,0
33-92	3,7
92-120	3,2

изменялись не столь значительно. Большинство изученных видов растений достоверно накапливают свинец в фитомассе в загрязненных местообитаниях (табл. 4).

Значимой составляющей антропогенного прессинга на окружающую среду является автотранспорт. Выбросы автотранспорта в общей совокупности вредных выбросов составляют до 50%, а в некоторых случаях даже превышают количество выбросов промышленных предприятий [20, 21].

Исходя из результатов наших исследований, для свинца достоверно увеличение содержания подвижных соединений в почве при приближении к дорожному полотну, хотя в пробах не обнаружено существенного превышения содержания элемента над фоновыми значениями и ПДК. Вероятно, низкая кислот-

ность почв около дорог способствует закреплению Pb в неподвижной форме. Величины содержания свинца достоверно отличаются вдоль разных трасс, что обусловлено интенсивностью движения [22], а также сложным сочетанием различных почвенных характеристик (рН, содержания гумуса, влажности, гранулометрического состава и т. п.).

Химический состав растений придорожных фитоценозов существенно отличается от фоновых повышенным содержанием Pb [23, 24, 25].

Например, в побегах лесных растений (*Arctostaphylos uva-ursi*, *Convallaria majalis*), произрастающих на расстоянии 1–10 м от автомагистрали, концентрация свинца увеличивается более чем в два раза, значительно превышая ПДК (рис. 2, 3).

Таблица 5. Содержание Pb в растениях фоновых и загрязненных территорий (мг/кг сухой массы)

Вид растения, исследуемый орган	Фоновые территории	Загрязненные территории
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., Брусника, побеги	1,29±0,07* 0,20-4,01**	2,36±0,27*** 1,05-6,15
<i>Convallaria majalis</i> L., Ландыш майский, листья	1,70±0,21 0,04-6,00	3,03±0,21*** 0,90-6,10
<i>Hypericum maculatum</i> Crantz., Зверобой пятнистый, побеги	1,12±0,23 0,33-2,50	2,28±0,25*** 0,27-7,00
<i>Plantago major</i> L., Подорожник большой, листья	1,67±0,21 0,50-2,58	3,31±0,21*** 0,90-12,40
<i>Rubus idaea</i> L., Малина съедобная, листья	0,94±0,11 0,42-2,20	2,29±0,29*** 0,40-8,20
<i>Rubus idaea</i> L., Малина съедобная, плоды	0,92±0,19 0,40 – 2,30	1,49±0,15 0,50 – 2,50
<i>Sorbus aucuparia</i> L., Рябина обыкновенная, побеги	0,94±0,08 0,30 – 2,10	1,65±0,32 0,50 – 4,10
<i>Sorbus aucuparia</i> L., Рябина обыкновенная, плоды	1,01±0,12 0,30 – 3,10	4,16±0,22*** 0,70 - 9,50
<i>Tanacetum vulgare</i> L., Пижма обыкновенная, соцветия	1,13±0,25 0,20-2,89	2,93±0,39*** 0,50-10,50
<i>Tussilago farfara</i> L., Мать-и-мачеха обыкновенная, листья	0,99±0,16 0,40-2,28	4,21±0,27*** 0,40-15,80
<i>Valeriana officinalis</i> L. s.l., Валерьяна лекарственная, корневище	1,12±0,23 0,33-2,50	2,28±0,25*** 0,27-7,00

* – среднее; ** – колебания; *** – средняя концентрация превышает ПДК для растительных продуктов [30].

В придорожной полосе свинец накапливают растения *Tanacetum vulgare* L., *Achillea millefolium*, *Tussilago farfara* L., *Plantago major* L., *Valeriana officinalis* L. s.l., плоды *Sorbus aucuparia*.

Максимальные концентрации металлов содержит фитомасса, собранная в непосредственной близости от автодорог на расстоянии 1–20 м от дорожного полотна. На расстоянии 50–200 м от дорожного полотна содержание металлов в разных видах становится довольно близким и постепенно снижает-

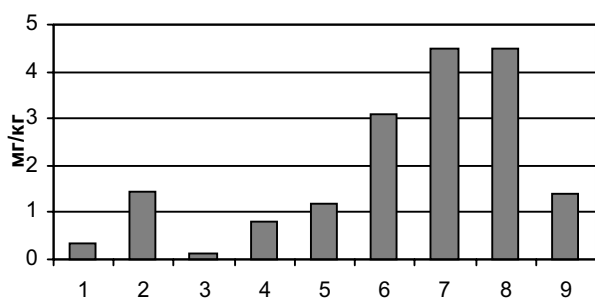


Рисунок 1. Содержание подвижных соединений Pb в гумусовых горизонтах пойменных почв. 1, 2, 3, 4 – фоновые территории; 6, 7, 8, 9 – окрестности городов, промышленные зоны

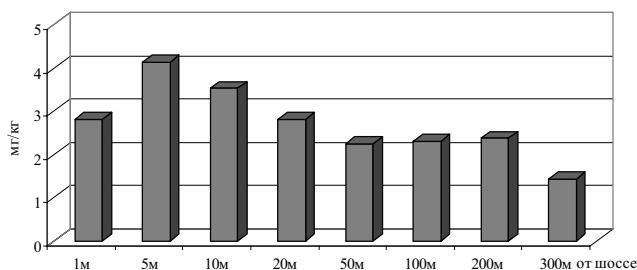


Рисунок 2. Содержание Pb в побегах *Convallaria majalis* в зависимости от близости дорожного полотна

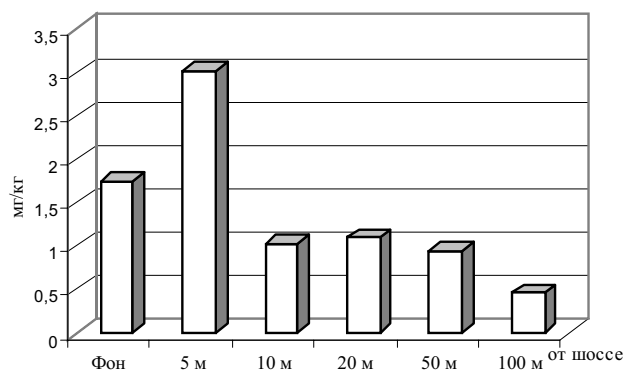


Рисунок 3. Содержание Pb в побегах *Arctostaphylos uva-ursi*, произрастающей на фоновых и придорожных территориях

ся. Содержание Pb в фитомассе в 200-метровой зоне вдоль дорог иногда превышает ПДК, хотя в основной массе отмечается лишь превышение фоновых показателей. При удалении от дорожного полотна на 300–400 м содержание металла становится постоянным, близким в среднему содержанию в фоновых местообитаниях.

В результате анализа данных о концентрациях тяжелых металлов в растениях техногенных местообитаний выявлено 38 видов растений, в наибольших количествах аккумулирующих поллютанты в техногенных местообитаниях северо-востока европейской части России. Среди них активными накопителями свинца являются следующие виды растений – *Tussilago farfara* L., *Plantago major* L., *Rubus saxatilis* L., *Scirpus lacustris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Sorbus aucuparia* L. и изученных ранее [26] виды р.Ива (р. *Salix*): *S. caprea* L., *viminialis* L., *S. triandra* L., *S. pentandra* L., *S. starkeana* Willd., *S. phlyicifolia* L.

Выявленные виды растений техногенных местообитаний – накопители поллютантов – могут найти практическое применение при фитомелиорации и санации загрязненных территорий [27, 28].

На данном этапе исследований не выявлено достоверной зависимости содержания свинца в растениях от концентрации его в почве и величины поступления свинца в окружающую среду. Это может быть обусловлено комплексом причин, например, отмеченной некоторыми исследователями [29] невысокой эффективностью утилизации свинца по сравнению с другими металлами-поллютантами. Одной из причин, препятствующих установлению этой зависимости, является наличие временной динамики содержания подвижных соединений свинца в почвах и растениях, что требует разработки новых подходов к решению этой проблемы. Например, в почвах ключевых участков отмечена существенная динамика содержания подвижных соединений свинца в течение вегетационного сезона (рис. 4).

Содержание свинца может меняться на протяжении сезона в 2–4 раза. Временная

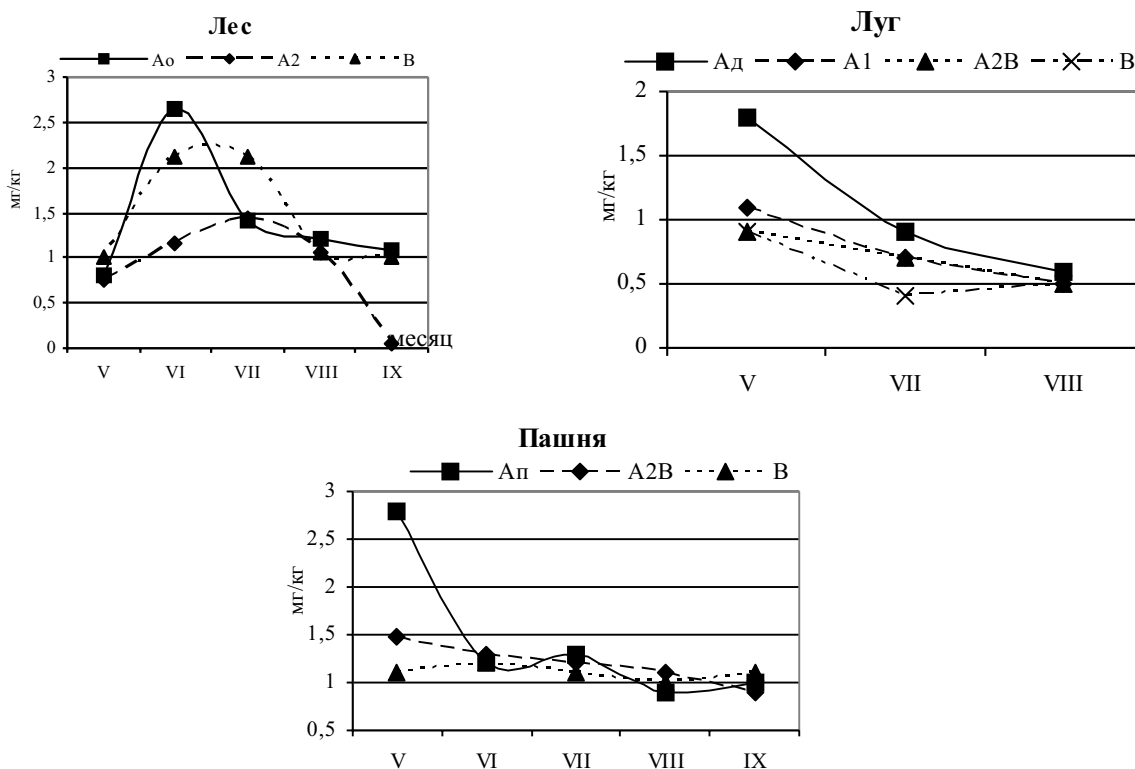


Рисунок 4. Сезонная динамика содержания подвижных соединений Рb

динамика отмечена по всей исследованной глубине профилей. Однако максимальные амплитуды колебания содержания Рb наблюдаются в верхних органогенных горизонтах. При этом в подавляющем большинстве случаев максимальное содержание элемента приходится на первую половину вегетационного сезона – май, июнь. В некоторых случаях отмечен осенний максимум содержания. Такая закономерность обусловлена гидротермическим режимом почв, а также динамикой трансформации почвенного органического вещества.

Заключение

Таким образом, основная часть территории северо-востока европейской России характеризуется относительно небольшим содержанием подвижных форм свинца в почвах и их накоплением в растениях. Наибольшую опасность с точки зрения загрязнения почв и растений ТМ представляют территории, прилегающие к крупным городам, промышленным объектам и автомагистралям. Сельскохозяйственное производство, а также сбор ягод и лекарственных растений на таких территориях представляют реальную угрозу здоровью населения.

Список использованной литературы:

1. Бурков Н.А. Оценка поступления ртути, свинца и кадмия в окружающую среду // Региональные и муниципальные проблемы природопользования. – Кирово-Чепецк, 1996. – С. 14.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
3. Правила сбора сырья лекарственных растений. – М., 1989. – 406 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – М., 1992. – 61 с.
5. Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе. – Новосибирск, 1976.
6. Гаврилова И.П., Богданова М.В., Самонова О.А. Опыт площадной оценки степени загрязнения почв России тяжелыми металлами // Вестн. Моск. ун-та, сер. 17, Почвоведение. – 1995. – №1. – С. 48-53.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. Накопление кадмия и свинца некоторыми сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разной степени оподзоленности // Известия ТСХА. – 1995. – Вып. 2. – С. 85 – 100.
9. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в городских почвах // Сиб. экол. журнал. – 2002. – №3. – С. 285-292.
11. Денева С. Природные и техногенно-нарушенные почвы дельты реки Печора // Вестник Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2003. – №6. – С. 8-10.
12. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
13. Гармаш Г.А. Распространение тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия металлургических предприятий // Почвоведение. – 1985. – №2. – С. 27-32.
14. Гармаш Г.А. Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненной этими металлами почве // Химические элементы в системе почва – растение. – Новосибирск, 1981. – С. 105-110.
15. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
16. Таланова В.В., Титов А.Ф., Боева Н.П. Влияние свинца и кадмия на проростки ячменя // Физиология и биохимия культурных растений. – 2001. – Т. 33. – №1. – С. 33-37.
17. Титов А.Ф., Лайдинен Т.Ф., Казнина Н.М. Влияние ионов свинца на рост и морфологические показатели растений ячменя и овса // Физиология и биология культурных растений. – 2001. – Т. 33. – №1. С. 33-37.
18. Лукина Н.В., Никонов В.В. Состояние еловых биогеоценозов севера в условиях техногенного загрязнения. – Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1993. – 132 с.
19. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. – 1982. S. – Н. 16. – S. 59 – 72.
20. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Кировской области в 2001 году. – Киров, 2002. – 226 с.
21. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2001 году. – Сыктывкар, 2002. – 96 с.
22. Добровольский В.В. Некоторые аспекты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Биологическая роль микроэлементов. – М.: Наука, 1983б. – С. 44-55.
23. Романе Э.Я. Загрязнение лекарственного растительного сырья в зонах влияния автотранспорта (на примере Ленинградской области): Автореферат дис... канд. фармац. наук. – Л., 1987. – 22 с.
24. Романе Э.Я., Римкис Г.Я. Автотранспорт – источник загрязнения лекарственного сырья тяжелыми металлами // Науч. тр. ВНИИ фармации. – 1987. – Т. 25. – С. 54 – 59.
25. Савицкене Н., Вайчюнене Я.А., Пясякене А.А., Риспелис С.П., Абрахманов Х., Савицкас А.Б. Содержание тяжелых металлов в лекарственных растениях из разных придорожных зон в Литве // Растит. ресурсы. – 2000. – Т. 29. – Вып. 4. – С. 23 – 30.
26. Егошина Т.Л., Шихова Л.Н., Лисицын Е.М., Жиряков А.С. Накопление тяжелых металлов в водных экосистемах разной степени загрязненности // Проблемы региональной экологии. – 2007. – №2. – С. 17 – 23.
27. Криволюцкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федорова Е.А. Биоиндикация и экологическое нормирование // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М., 1987.
28. Егошина Т.Л., Лисицын Е.М., Шихова Л.Н. Адаптивные реакции растений на техногенное загрязнение почв Кировской области // Актуальные проблемы экологической физиологии растений в 21 веке. – Сыктывкар, 2001. – С. 219-220.
29. Васильева Т.Н., Брудастов Ю.А. Загрязнение металлами почв города Оренбурга: Общие параметры взаимосвязи с фитоаккумуляцией металлов представителями синантропной флоры // Вестник ОГУ. – 2007. – №12. С. 83 – 86.
30. СанПиН 2.3.2. 1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. – М.:Минздрав России, 2002.– Вып. 4 (10) – 143 с.