

## Анализ содержания радионуклидов и тяжёлых металлов в системе «почва – растения» на техногенной территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса

© 2015. Е. С. Сунцова<sup>1</sup>, аспирант, Е. С. Петухова<sup>1</sup>, аспирант, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д.т.н.,  
зав. кафедрой, зав. лабораторией, Г. Я. Кантор<sup>2</sup>, к.т.н., н.с.,

<sup>1</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

e-mail: ecolab@vshu.kirov

Приведены материалы по исследованию территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, изучено содержание тяжёлых металлов и техногенных радионуклидов в природных объектах на участках мониторинга. Выявлены виды растений, характеризующиеся высокой аккумулярующей способностью тяжёлых металлов и радионуклидов. Максимальные значения по содержанию соединений кадмия, свинца, железа, марганца, никеля отмечены в крапиве двудомной; соединений меди, цинка, кадмия, железа – в бодяке полевом; свинца, меди, кадмия – в полыни горькой; марганца, меди, никеля – в черёмухе обыкновенной; свинца, меди – в тростнике обыкновенном. Наибольшую накопительную активность к соединениям меди, свинца и кадмия проявляют крапива двудомная, бодяк полевой и полынь горькая. Исследуемые растения преимущественно накапливают радионуклид <sup>137</sup>Cs, при этом установлена положительная корреляция удельной активности <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs в почве и растениях.

The information on the territory of Kirovo-Chepetsk industry is given, the content of heavy metals and radionuclides in natural objects at monitoring sites is assessed. The kinds of plants characterized by high heavy metals and radionuclides storage capacity are found out. The maximum values of the content of cadmium, lead, iron, manganese, and nickel compounds are found in *Urtica dioica* L.; of copper, zinc, cadmium, and iron compounds – in *Cirsium arvense* (L.) Scop.; lead, copper, and cadmium compounds – in *Artemisia absinthium* L.; manganese, copper, and nickel compounds – in *Prunus padus* L.; lead and copper compounds – in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. The highest cumulative activity as for copper, lead, and cadmium compounds is characteristic of nettle, creeping thistle, and wormwood. The tested plants mostly accumulate radionuclide <sup>137</sup>Cs, and positive correlation of specific activity of <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs is stated in soil and plants.

Ключевые слова: Кирово-Чепецкий промышленный комплекс, загрязнение,  
радиоактивные и химические отходы, аккумуляция.

Keywords: Kirovo-Chepetsk industry, pollution, radioactive and chemical waste, accumulation.

С 2000 г. лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного гуманитарного университета изучает состояние почв, растительности, животного мира, атмосферных осадков (снега), поверхностных вод и донных отложений в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса. Согласно полученным ранее данным, основными загрязняющими веществами окружающей среды на территории вблизи комбината являются соединения азота, фториды, тяжёлые металлы (ТМ) и радионуклиды [1-7].

Целью данного исследования являлось комплексное химическое и радиоэкологическое изучение закономерностей миграции, накопления и распределения техногенных радионуклидов <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs и ТМ по основным компонентам экосистем (почва водосборных территорий – растительность), расположен-

ных на территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса в пределах Кировской области.

По результатам предыдущих исследований [4, 5, 7-9] было показано, что ореол химического и радиационного загрязнения почв и грунтов имеет отчетливую приуроченность к водным объектам. В связи с этим площадки мониторинга закладывались на берегах водоёмов и водотоков (р. Елховка – 904, 906, 907, 918; оз. Просное – П-13), на заболоченных участках в районе хранилищ отходов – 913, 1005/1. Два участка 920 и 921 заложены на гравистой пойме р. Вятки, примыкающей к руслу р. Елховки.

В 2010–2011 гг. в районе размещения объектов хранения радиоактивных отходов сотрудниками лаборатории проводились замеры мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД). Установлено, что все

Таблица 1

Содержание тяжёлых металлов в пробах почв в зоне действия КЧХК (валовая форма, мг/кг)

Элемент № участка	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
901	31±7	12±3	0,4±0,1	81±27	43±12	<b>1700±500</b>
904	42±8	59±12	0,7±0,2	170±60	49±14	1300±400
906	79±18	<b>305±65</b>	1,3±0,3	<b>265±90</b>	72±20	<b>1690±530</b>
907	86±20	<b>300±60</b>	<b>2,1±0,5</b>	<b>330±70</b>	59±17	<b>1800±600</b>
913	23±5	12±3	0,2±0,1	40±13	35±10	625±200
918	87±20	<b>280±60</b>	<b>3,3±0,8</b>	<b>460±150</b>	61±17	1400±400
920	25±6	19±4	0,4±0,1	89±29	35±10	1300±400
921	47±11	89±19	1,0±0,3	180±50	54±15	950±310
927	20±5	18±4	0,11±0,03	104±34	24±7	720±240
930	51±12	59±12	1,6±0,4	<b>710±230</b>	31±9	<b>1600±500</b>
1005/1	76±18	<b>138±28</b>	0,8±0,2	<b>363±120</b>	65±18	700±230
П – 13	34±8	51±11	0,6±0,2	<b>290±60</b>	37±10	510±170
ПДК (ОДК)	66-132	65-130	1-2	110-220	40-80	1500

Примечание: жирным шрифтом выделены значения содержания тяжёлых металлов, превышающих ПДК.

исследованные почвы характеризуются повышенными значениями МЭД – 0,2-0,47 мЗв/час при фоновых значениях для Кировской области 0,08-0,10 мЗв/час [3, 4].

В местах, где проявляются повышенные по сравнению с фоном значения МЭД, были отобраны смешанные и точечные пробы почв и грунтов, а также пробы растений, произрас-

тающих на участках мониторинга. Карта – схема отбора проб представлена на рисунке 1.

Концентрацию валовых и подвижных форм ТМ (кадмий, свинец, медь, железо, никель, цинк, марганец) в почвах и растениях определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Спектр-5-4». Удельные активности <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr измеряли на

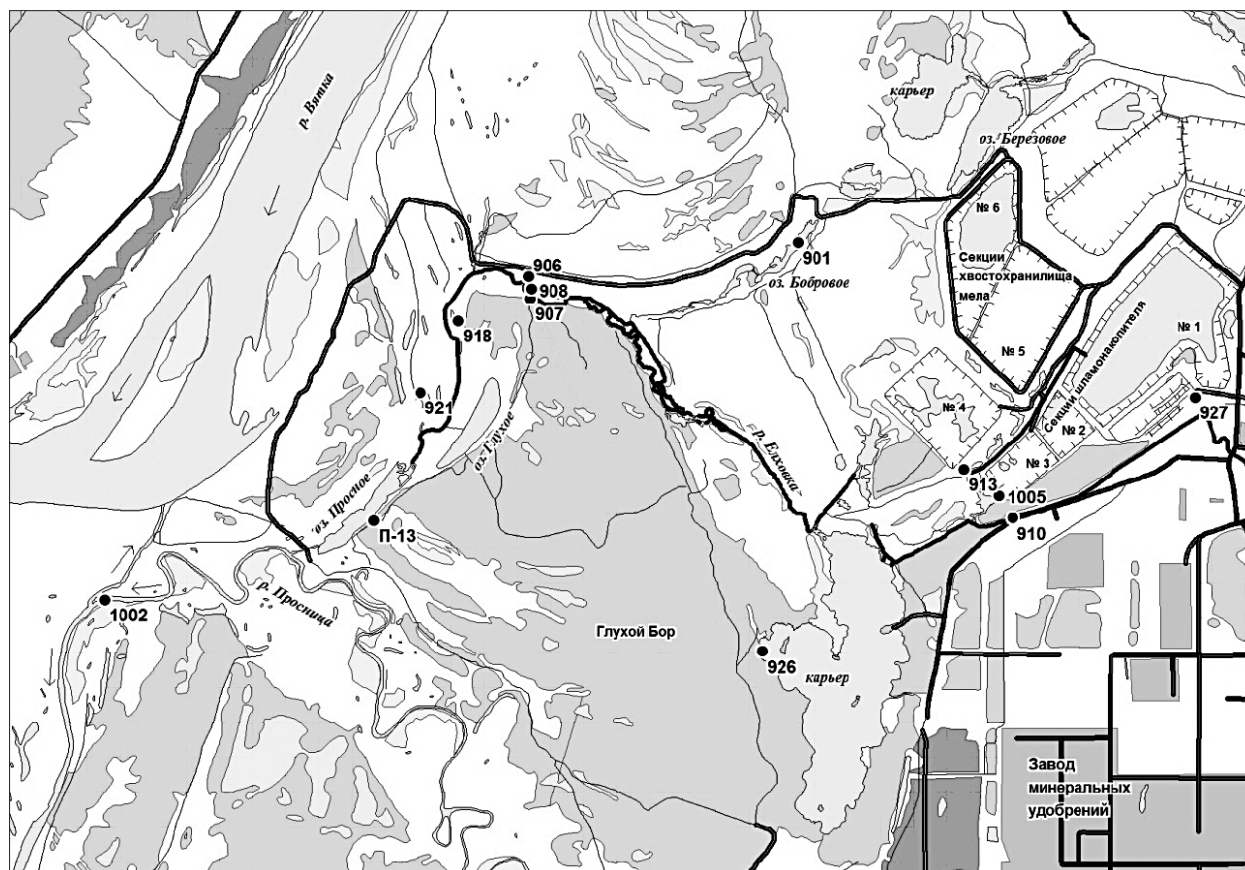


Рис. 1. Схема расположения участков отбора растительных и почвенных проб.

бета-гамма-спектрометрическом комплексе с использованием программного обеспечения «Прогресс».

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в почвах на некоторых участках в районе исследования отмечены близкие к ПДК или превышающие в 1,5-2 раза значения концентраций свинца, цинка, кадмия, марганца (табл. 1). На основании соотношения концентраций нормируемых в почвах элементов и ПДК рассчитаны суммарные коэффициенты химического загрязнения  $Z_c$ . По данному критерию все почвы относятся к категории с допустимой степенью загрязнения ( $Z_c < 16$ ) [7, 9]. Тем не менее, отчётливо выделяются наиболее загрязнённые участки – №№ 906, 918, 907, 921, 1005/1 и П-13.

Нами исследована удельная активность радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах на территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса.

В почвах на площадках мониторинга основным загрязнителем является радионуклид  $^{137}\text{Cs}$ . Максимальные значения удельной активности в почве на площадке 913 (8089 Бк/кг) близки по своим значениям к минимально-значимому уровню 10000 Бк/кг [10]. Также высокие значения удельной активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в почве наблюдаются на участках 906 (5420 Бк/кг), 907 (6134 Бк/кг). Наименьшие значения этого радионуклида отмечены на участках 927 (35,5 Бк/кг), 1005/1 (104,1 Бк/кг), 901 (36,2 Бк/кг) (табл. 2).

Распределение  $^{90}\text{Sr}$  имеет несколько иной характер: максимальное значение удельной активности его обнаружено на участке 1005/1. Также высокие значения удельной активности этого радионуклида отмечены на участках 907 (187,3 Бк/кг) и 930 (180,7 Бк/кг). Загрязнение данными радионуклидами приурочено

к 3-ей секции хранилища радиоактивных отходов и к руслу р. Елховки. На территории заболоченной поймы реки Елховки в нижнем её течении также встречаются локальные «пятна» загрязнения почв до уровня низкоактивных отходов. Существует вероятность того, что в результате поверхностного смыва, затопления территории в паводок, постоянного взаимодействия с текущими водами донных отложений, может произойти поступление радионуклидов в воды реки Вятки.

По материалам исследований лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ [2, 8, 11, 12] в районе исследования преобладающими видами растений являются: из древесных – черёмуха обыкновенная, вяз, рябина; из кустарниковых форм представлены – шиповник обыкновенный, смородина, малина; из травянистых широко распространены представители семейств Сложноцветных, Злаковых, Лютиковых, Астровых, Крапивных.

В районе исследования отбирались образцы древесной и травянистой растительности из разных биоценозов. Отобранные образцы доставлялись в лабораторию в сыром виде, где проводилась их сушка, деление на стебли, листья, плоды и корни; далее образцы измельчались, взвешивались и озолялись.

На атомно-абсорбционном спектрометре определялось содержание ТМ: меди, никеля, марганца, свинца, железа, кадмия и цинка. Установлено, что прямой зависимости между абсолютными величинами содержания ТМ в почвах и растениях не существует. Тем не менее, на участках (927, 913, 907, 906), почвы которых загрязнены ТМ, произрастали растения с повышенным их содержанием [7]. Способность к аккумуляции ТМ невысока у всех видов растений на участках, почвы которых содержат высокие концентрации элементов. При низком содержании ТМ в почве накопительная способность растений увеличивается, коэффициент накопления приближается к единице. Установлены видовые различия растений к аккумуляции ТМ. Хорошей способностью к накоплению всех металлов обладает полынь обыкновенная. Максимальные значения по содержанию отдельных ТМ были отмечены в крапиве двудомной, бодяке полевом, в тростнике обыкновенном, полыни горькой и черёмухе (табл. 3).

Наибольшая способность к аккумуляции никеля и марганца установлена для растений крапивы двудомной; свинца и меди – для тростника обыкновенного и бодяка полевого;

**Таблица 2**

Удельная активность радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах на площадках мониторинга КЧХК, Бк/кг

№ участка	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
901	20,2±4,2	73,0±34,5
904	2804±292	128,0±39,4
906	5420±557	115,6±43,5
907	6134±630	187,3±42,8
913	8089±829	35,3±16,3
918	4777±493	57,1±35,9
920	1004±108	78,2±34,2
921	2291±241	143,1±49,9
927	35,5±5,5	83,6±35,1
930	3698±381	180,7±44,8
1005/1	104,1±13,4	1272±63
П-13	1832±193	104,4±33,2

меди и цинка – для черёмухи обыкновенной и бодяка полевого; кадмия – для бодяка полевого, крапивы двудомной и полыни горькой.

Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что из 9 исследуемых участков наибольшее содержание металлов в исследуемых растениях выявляется на участках, расположенных вблизи техногенных объектов: участки № 907, 930, 1005/1, 913, 921. Наиболее распространёнными растениями на участках являются крапива двудомная, бодяк полевой и полынь горькая. Отмечено, что на большинстве участков наиболее аккумулируются растениями соединения меди, свинца и кадмия.

Определение содержания радионуклидов в растениях путём измерения удельной активности техногенных радионуклидов позволило выявить, что наименее выраженной способ-

ностью к накоплению радионуклидов обладают полынь горькая, бедренец-камнеломка. Больше всего накапливают <sup>137</sup>Cs бодяк полевой и пырей ползучий (на участках у Завода полимеров и 3-ей секции шламонакопителя), а также тростник обыкновенный и вейник седеющий на заболоченной территории у 3-ей секции. Крапива двудомная способна к аккумуляции <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr (максимальные значения на участках у старого русла р. Елховки, в районе оз. Бобровое и 3-ей секции шламонакопителя) [11]. На этих же участках отмечены повышенные значения удельной активности радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в образцах почв.

На участке 913 отмечена высокая удельная активность <sup>137</sup>Cs в листьях крапивы двудомной. Данный участок характеризуется высокими значениями удельной активности

Таблица 3

Максимальные значения по содержанию тяжёлых металлов в растениях на участках исследования

Растение	Максимальные значения содержания тяжёлых металлов на участках исследования								
	901	906	907	913	921	927	930	1005/1	П-13
Тростник обыкновенный	Pb, Cu	–	–	Cu	–	–	–	–	–
Бодяк полевой	–	–	Fe	Cu, Cd	–	–	Cd, Cu, Zn, Fe	Cu, Zn, Pb	–
Черёмуха обыкновенная	–	–	Mn, Cu, Ni	–	–	–	–	–	–
Полынь горькая	–	–	–	–	–	Cu	Cu, Fe	Cu, Cd, Pb	–
Крапива двудомная	–	Mn, Ni	Cu, Cd	Zn	Cd, Pb, Mn, Fe, Ni	–	–	–	Cu, Zn

Примечание: – минимальные значения по содержанию ТМ в растениях.

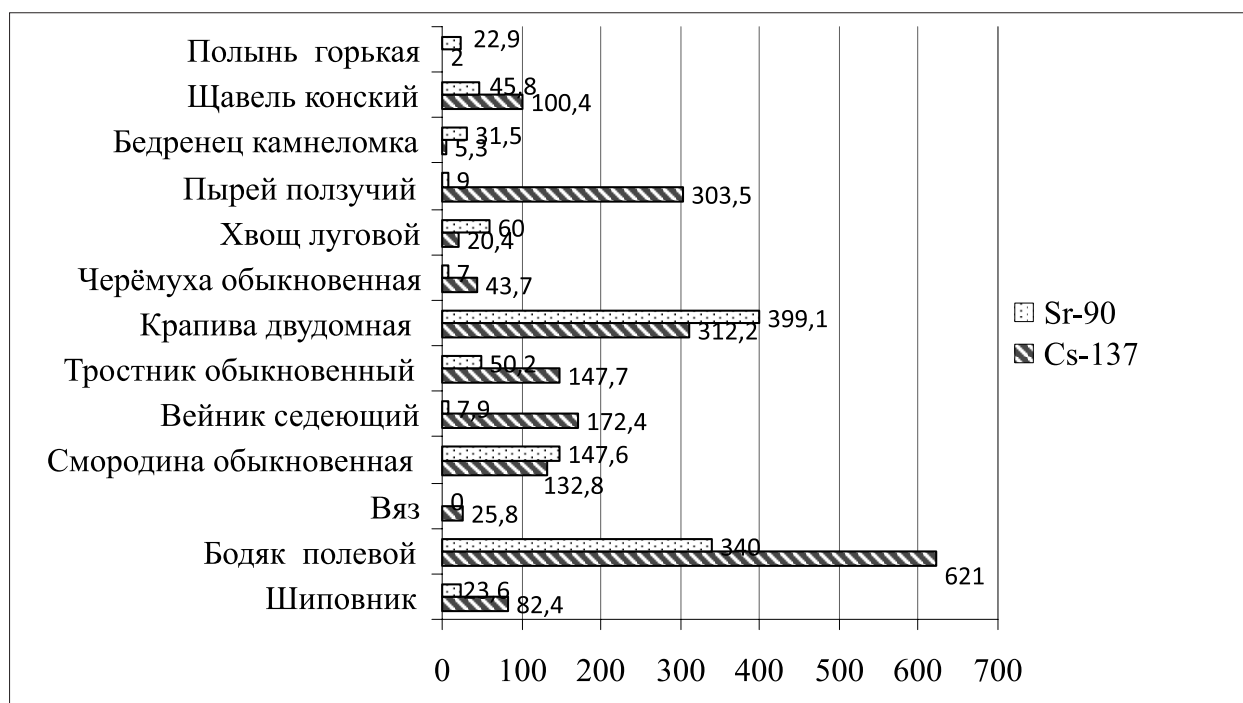


Рис. 2. Содержание радионуклидов в растительных пробах, Бк/кг.



этого радионуклида в почве. Установлено, что на участке 1005/1 максимальная активность в почве радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  (1272 Бк/кг) также коррелирует с максимальной удельной активностью в крапиве двудомной – 399,1 Бк/кг. Максимальные значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в бодяке полевом отмечены на участке 930 (за мостом) – 621 Бк/кг, радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  – на участке 1005/1 (340 Бк/кг). Установлено, что в листьях древесных и травянистых форм растительности в большем количестве аккумулируется радионуклид  $^{137}\text{Cs}$ .

Измерение удельной активности в листьях черёмухи и вяза на участках у оз. Просное и у р. Елховки показало, что радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  накапливается в большем количестве, чем  $^{90}\text{Sr}$ . Причиной этого может быть и тот факт, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве на порядок выше, а также связано с миграционной способностью радионуклидов. Удельная активность обоих радионуклидов в листьях смородины на участке около 3-ей секции примерно одинакова, а листья шиповника накапливают радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  в большем количестве.

**Выводы:**

1. На территории исследования выявлены участки максимально загрязнённые радионуклидами и ТМ, расположенные вблизи источников техногенного загрязнения.

2. Из 12-ти исследуемых участков наиболее загрязнёнными радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  являются участки, расположенные у 3-ей секции шламонакопителя. Выявлены некоторые особенности по уровню накопления техногенных радионуклидов для растений, доминирующих на участках мониторинга.

3. Почвы в прибрежной зоне р. Елховки загрязнены ТМ. Концентрация свинца, цинка, марганца на исследуемых участках превышают ПДК в 1,5 – 2 раза.

4. Растения на участках мониторинга преимущественно накапливают  $^{137}\text{Cs}$ , при этом установлена положительная корреляция удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почве и растениях.

5. Максимальные значения по содержанию в растениях соединений ТМ на исследуемых участках были отмечены: в крапиве двудомной – Cd, Pb, Fe, Mn, Ni; бодяке полевом – Cd, Cu, Zn, Fe; в тростнике обыкновенном – Pb, Cu; в полыни горькой – Pb, Cu, Cd и черёмухе обыкновенной – Mn, Cu, Ni.

6. Наибольшая способность к аккумуляции никеля и марганца выявлена у крапивы двудомной, свинца и меди – у тростника обыкновенного и бодяка полевого, меди и

цинка – у черёмухи обыкновенной и бодяка полевого, кадмия – у бодяка полевого, крапивы двудомной и полыни горькой, в то время как содержание в почвах соединений меди и кадмия не превышают ПДК.

## Литература

1. Дружинин Г.В. Отчёт по результатам комплексной оценки влияния хозяйственной деятельности ОАО КЧХК и прилегающей к нему площади водосбора на режим формирования качества и количества стоков / Г.В. Дружинин, А.П. Лемешко, В.А. Нечаев и др. Киров, 2006. 146 с.

2. Сунцова Е.С., Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я. Содержание радионуклидов в компонентах природной среды в районе Кирово-Чепецкого химического комбината // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 162 – 167.

3. Ашихмина Т., Дабах Е., Кантор Г., Лемешко А., Скугорева С., Адамович Т. Состояние природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 3. С. 9-14.

4. Скугорева С., Адамович Т., Олькова А., Домрачева Л., Домнина Е., Злобин С., Измествева А., Ашихмина Т. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 3. С. 30-36.

5. Ашихмина Т.Я., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Лемешко А.П., Скугорева С.Г., Адамович Т.А. Оценка состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 18-26.

6. Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Лемешко А.П. Состояние почв в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. III междунар. науч. конф. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 80-84.

7. Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Головки Т.К., Ашихмина Т.Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртуты. Екатеринбург. 2008. 156 с.

8. Скугорева С.Г., Злобин С.С., Березин Г.И. Содержание тяжёлых металлов в растениях и почвах на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. всерос. науч.-практ. конф. молодежи. Киров. 2011. С. 114-117.

9. Ашихмина Т.Я., Лемешко А.П., Кантор Г.Я., Дабах Е.В. Комплексное обследование территории в районе хранения радиоактивных отходов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО» // Современная радиоэкологическая обстановка в Кировской области. Объективный

мониторинг состояния недр и его роль в решении практических задач Госкорпорации «Росатом» по реабилитации радиационно-опасных объектов ФГУП «РосРАО». Материалы научно-практической конференции 10-11 декабря 2009 г. – Киров, 2009. – 63-76.

10. Дабах Е. В., Кондакова Л. В., Домрачева Л. И., Злобин С.С. Альго-микологическая оценка состояния почв в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Почвоведение. 2013. № 2. С. 187-194.

11. Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009)». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.

12. Сунцова Е.С., Петухова Е.С., Ашихмина Т.Я. Изучение содержания тяжёлых металлов и радионуклидов в растениях на территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса на примере крапивы двудомной // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер.Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров, 2014. С. 88-93.

13. Петухова Е.С., Сунцова Е.С., Ашихмина Т.Я. Изучение содержания тяжёлых металлов в вегетативных органах бодяка полевого // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров, 2014. С. 85-88.

Правительство Кировской области  
Вятский государственный гуманитарный университет  
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

**1-2 декабря 2015 г.**  
**ХIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ И**  
**БИОДИАГНОСТИКА ЖИВЫХ СИСТЕМ»**

**Уважаемые коллеги!**

Приглашаем Вас принять участие в работе ХIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем», которая состоится в г. Кирове на базе Вятского государственного гуманитарного университета по адресу г. Киров, ул. Ленина, 198.

Тематика работы конференции

1. Инновационные технологии в экологии
2. Биологический мониторинг природных сред и объектов
3. Методы биодиагностики в оценке качества окружающей среды
4. Геоинформационные системы и космические технологии в оценке состояния окружающей среды
5. Мониторинг в условиях техногенного загрязнения
6. Экология организмов и механизмы их адаптации к среде обитания
7. Региональные аспекты развития экологической культуры, образования и просвещения

Контактные адреса и телефоны оргкомитета  
610002, г. Киров, ул. Красноармейская, 26,  
Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ,  
телефон/факс (8332) 37-02-77,  
e-mail: ecolab2@gmail.com  
технический секретарь Кардакова Евгения Михайловна  
ответственный секретарь Огородникова Светлана Юрьевна