

**Изучение состояния почв на территории вблизи
Кирово-Чепецкого химического комбината**

© 2009. С.Г. Скугорева¹, к.б.н., м.н.с., Е.В. Дабах¹, к.б.н., с.н.с.,
Т.А. Адамович², аспирант; Г.Я. Кантор¹, к.т.н., н.с.,
И.И. Шуктомова¹, к.б.н., с.н.с., Т.Я. Ашихмина^{1,2}, д.т.н., зав. лабораторией биомониторинга,
¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
²Вятский государственный гуманитарный университет

В статье представлены данные по состоянию почв на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината (Кировская область). Дана характеристика почв по физико-химическим, радиологическим и биологическим показателям. Выявлены участки локального загрязнения почв тяжёлыми металлами, фторид-, нитрат-ионами, катионами аммония. Установлено, что наибольший вклад в загрязнение почв поллютантами вносят подземные воды.

The article presents the data on soil state on the territory near the Chemical industrial complex in Kirovo-Tchepetsk (Kirov region). Physical, chemical, radiological and biological indices of soil are shown. Areas with soil locally contaminated with heavy metals, fluoride- and nitrate ions and ammonium cations were indicated. It was stated that groundwater contributes to soil contamination most of all.

Ключевые слова: Кирово-Чепецкий химический комбинат,
загрязнение почв, экологический мониторинг

Градообразующие предприятия химической промышленности в г. Кирово-Чепецке Кировской области представлены Заводом полимеров (ЗП) и Заводом минеральных удобрений (ЗМУ). На Заводе полимеров производятся фторопласты (более 70% от производимых в России), фторполимеры и другие фторорганические соединения (перфторуглеродные смазки и жидкости, фторэластомеры, хладоны). На ЗМУ действуют крупнотоннажные производства аммиака, азотной кислоты, аммиачной селитры, сложных минеральных удобрений.

Оба завода, которые традиционно объединяются под названием Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), относятся к химически опасным предприятиям (1-я степень опасности) и, кроме того, потенциально опасным радиационным объектам. На долю Завода минеральных удобрений и Завода полимеров приходится соответственно 51% и 25% от общего выброса загрязняющих веществ в г. Кирово-Чепецке [1]. Завод полимеров – один из крупных источников отходов производства, ежегодное количество промышленных отходов составляет около 80 тыс. т.

На КЧХК впервые в стране было освоено промышленное производство плавиковой кислоты, и на его базе долгое время действовали производства по получению гексафторида и тетрафторида урана путём фторирования

металлического урана и оксида урана. В настоящее время на территории предприятия хранится большое количество радиоактивных отходов, которые размещены в 8 хранилищах. В них находится около 440 тыс. т радиоактивных (55 тыс. т среднеактивных и 385 тыс. т низкоактивных) и свыше 1 млн. 200 тыс. т токсичных отходов, в том числе свыше 400 тыс. т ртутьсодержащих. Хранилища отходов производства расположены в 1,5 км от селитебной зоны г. Кирово-Чепецка, в зоне санитарной охраны водозабора областного центра [2, 3].

Экологический контроль за деятельностью химического комбината осуществляется природоохранными органами, однако комплексные исследования на данной территории не проводились. С 2000 г. по настоящее время лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ в районе КЧХК изучается состояние почв и донных отложений, растительности, животного мира, состав атмосферных осадков (снега) и поверхностных вод.

В данной работе представлены результаты исследования почв и донных отложений, образцы которых были отобраны на территории вблизи КЧХК в 2008 году, физико-химическими и биологическими методами.

Почва и донные отложения являются мощными аккумуляторами различного рода загрязнителей. Поллютанты могут попадать

в почвы с атмосферными выбросами, с паводковыми водами, с фильтрующимися водами в местах размещения отвалов и хранилищ промышленных отходов, в донные отложения – из загрязнённых вод водоёмов и водотоков.

Изучаемая территория – часть долины реки Вятка – заболоченная пойменная, I и II надпойменные террасы. По литературным данным [4], в донных отложениях и почвах присутствуют радионуклиды, ртуть, цинк, сурьма, олово, водорастворимые фториды в количествах, иногда превышающих ПДК. Из радионуклидов потенциальными загрязнителями являются ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{241}Am и ^{239}Pu .

Смешанные почвенные образцы отбирались на площадках мониторинга, расположенных вдоль русла реки Елховка (точки 4, 5, 6), на берегах пойменных озёр (т. 9 и 10), искусственных водотоков (т. 1), на участках, подтапливаемых во время половодья (т. 11), на незатапливаемом участке водораздела между р. Елховка и р. Просница в Глухом бору (т. 12) и на удалённом лесном участке (т. 14), который может рассматриваться как фоновый для площадки № 12 (рис. 1). Ненарушенными почвами, для которых можно определить классификационную принадлежность, являются слабоподзолистые песчаные почвы хвойных лесов на площадках № 12

и № 14, аллювиальные дерновые оглеенные почвы лугов на площадках пробоотбора № 4 и № 11. На остальных изучаемых участках почвы перерытые, насыпные, погребённые и перекрытые свежим материалом. Однако воздействие на почвенный покров осуществлялось довольно давно, и на современном этапе почвы развиваются в соответствии с факторами почвообразования.

В почвах определялись физико-химические показатели, содержание тяжёлых металлов, мышьяка, фторид-иона, нитратного и аммонийного азота, ферментативная активность, токсичность и радиоактивность.

Содержание углерода органических соединений, нитратного и аммонийного азота, обменного кальция и магния, кислотность почв определяли по общепринятым методикам [5].

Концентрацию тяжёлых металлов в почвах и донных отложениях определяли методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на атомно-эмиссионном спектрометре Spectro Ciros^{CCD} по утверждённой методике [6]. Содержание ртути определяли методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915+. Для измерения массовой доли общей ртути в почве использовали методику, разработанную НПФ АП «ЛЮМЕКС» [7].

Измерение мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения (МЭД) проводили дозиметром ДКГ-02У «Арбитр». Определение удельной активности ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{90}Sr в почвах и донных отложениях проводили на спектрометрическом комплексе «Прогресс». Уран определяли радиохимическим методом.

Экологическое состояние почв оценивали также методами биотестирования. Для установления токсичности почв в качестве тест-объектов были использованы культура инфузорий (*Paramecium caudatum*), цериодафнии (*Ceriodaphnia affinis*) и тест-система «Эколюм».

Кроме того, изучали активность почвенных ферментов, относящихся к классам оксидоредуктаз (каталаза) и гидролаз (инвертаза и уреазы). Метод определения активности инвертазы основан на учете восстанавливающих сахаров, образующихся при расщеплении сахарозы. Активность каталазы определяли газометрическим методом, основанным на измерении объёма кислорода, выделяющегося при взаимодействии почвы с перекисью водорода. Определение активности уреазы основано на учёте количества аммиака, выделившегося в процессе ферментативного гидролиза мочевины [8].

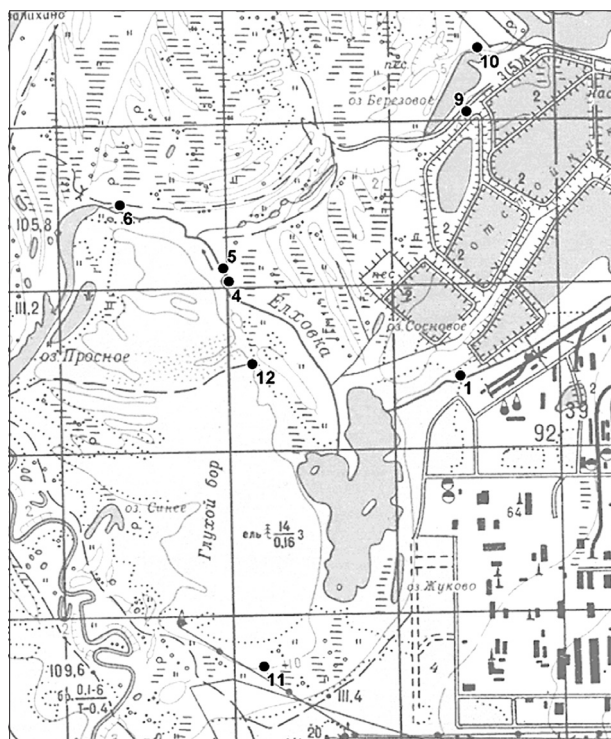


Рис. 1. Карта-схема отбора почвенных образцов на территории вблизи КЧХК

Таблица 1

Физико-химические свойства почв в районе КЧХК

№ участка	Глубина отбора пробы, см	Органическое вещество (в пересчете на гумус), %	pH _{H2O}	pH _{RCL}	Ca	Mg	Hг	ЕКО	V, %
					мг-экв/100 г				
1	0-8(12)	7,48	5,55	4,39	12,73	3,64	1,56	17,9	91
5	0-5	10,98	5,97	5,33	26,67	2,73	1,25	30,6	96
4	0-15	15,09	5,93	5,19	27,88	7,27	0,66	35,8	98
6	0-15	>25	7,33	6,39	39,09	3,94	1,66	44,7	96
9	0-10	1,79	8,42	7,29	–	–	0,08	–	100
10	0-10	0	5,88	5,54	–	–	1,25	–	–
11	0-5(10)	18,70	5,94	5,10	28,18	4,24	3,33	35,7	91
12	3-8	6,02	6,09	4,78	3,64	0,61	0,67	4,9	86
14	0-5	21,47	6,40	5,42	9,39	1,67	2,50	13,6	82
14	5-7	6,34	6,24	5,06	5,45	0,61	2,49	8,5	71

Примечание. Прочерк означает, что измерения не проводили. Нг – гидролитическая кислотность, ЕКО – ёмкость катионного обмена.

В таблице 1 представлены результаты анализа почв.

Большая часть почвенных образцов характеризуется кислой реакцией среды: отсильнокислой – в почвах на участке № 1, среднекислой – в Глухом бору (№ 12), слабокислой – на лугах (№ 4 и № 11) и на нарушенных территориях (№ 5 и № 10) (табл. 1). Наиболее высокие значения pH отмечены в почвах, подверженных частому и длительному затоплению: участки на оз. Берёзовое (№ 9) и на берегу у самого уреза воды р. Елховки (№ 6). Уровню pH и гранулометрическому составу соответствуют значения суммы обменных оснований и содержание кальция в почве. Особенно высокое содержание обменных оснований (43 мг-экв/100 г) отмечено в образце № 6. Степень насыщенности основаниями 71% в подзолистой ненарушенной почве, 100% – в почве нарушенного участка на оз. Берёзовое. Насыщены основаниями и все почвы, расположенные по берегам р. Елховки.

Как и следовало ожидать, в органогенных горизонтах подстилок подзолистых почв (№ 14/1), в дернине аллювиальных дерновых почв (№ 4 и № 11) выявлены наиболее высокие значения содержания органического вещества, представленного, главным образом, неспецифическими компонентами. В песке на участке № 10 содержание органического вещества ничтожно, а в прибрежных отложениях зарегулированного русла реки Елховки (№ 6) – максимально. Богатый листовенный опад на высоком берегу в районе искусственного водотока обеспечивает значительное со-

держание органического вещества в верхней части профиля почвы на участке № 1.

Результаты анализа элементного состава почв представлены в таблицах 2–3. Критерием оценки содержания тяжёлых металлов, мышьяка, фтора, могут быть ПДК, ОДК, фоновые показатели. Последние обычно устанавливаются для почв водоразделов. Выбрать фоновые участки в пределах пойменных ландшафтов весьма затруднительно из-за специфических условий почвообразования в пойме, высокой комплексности почвенного покрова. Кроме того, следует отметить, что изучаемая территория представляет собой природно-антропогенный ландшафт, значительно изменённый деятельностью человека.

Относительно ОДК и ПДК содержание в почвах свинца не превышено, но в суглинистых аллювиальных почвах оно в несколько раз выше по сравнению с другими почвами. Концентрация валового и подвижного цинка превышает предельно допустимые значения в образце № 6. На уровне ПДК содержание в данной пробе валового кадмия, несколько превышает содержание никеля. Почти на порядок выше концентрации кислоторастворимого кобальта и хрома в аллювиальных почвах (образцы № 4, № 5, № 6 и № 11) по сравнению с подзолистыми (площадки № 12 и № 14). Аномально высокое содержание марганца обнаружено на участке в нижнем течении реки Елховки (т. 6). В аллювиальных почвах отмечены также высокие, но не превышающие ОДК, концентрации мышьяка, ртути, а на площадках № 9 и особенно № 6 выше допустимой величины концентрация подвижного фтора.

Таблица 2

Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почве на территории вблизи КЧХК, мг/кг

№ участка	Глубина отбора, см	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Co	Cr	Mn	As	Hg, мкг/кг
1	0-8(12)	9,8±2,5	48±10	0,30±0,15	24±5	47±16	10±4	36±9	540±160	4,0±2,0	300±80
5	0-5	26±6	105±21	0,7±0,4	33±7	73±26	16±6	60±15	1200±400	6±3	460±110
4	0-15	44±11	131±26	0,8±0,4	36±7	70±25	16±6	63±16	1100±300	7±4	1200±300
6	0-15	39±10	250±50	2,1±1,1	50±10	100±25	19±7	76±19	5500±1700	7±4	1700±400
9	0-10	7,2±1,8	31±6	0,23±0,11	11,8±2,4	20±7	4,7±1,9	16±4	290±90	2,2±1,1	100±50
10	0-10	2,9±0,7	12,6±2,5	0,10±0,05	3,9±0,8	12±4	3,0±1,2	9,3±2,3	150±40	1,4±0,7	19±9
11	0-5(10)	20±5	80±16	0,7±0,4	28±6	56±19	13±5	70±18	1000±300	8±4	170±40
12	0-4	4,0±1,0	14,4±2,9	0,11±0,06	2,1±0,4	4,0±1,4	1,3±0,5	5,5±1,4	150±40	1,5±0,7	18±8
12	4-8	3,5±0,9	13,2±2,6	0,13±0,07	1,8±0,4	3,8±1,3	1,2±0,5	5,1±1,3	130±40	1,3±0,6	20±9
14	0-5	7,5±1,9	17±3	0,15±0,08	3,3±0,7	5,0±1,7	2,0±0,8	6,1±1,5	440±130	1,5±0,8	43±19
14	5-7	4,5±1,1	13,6±2,7	0,13±0,07	2,1±0,4	3,9±1,4	1,7±0,7	5,4±1,3	360±110	1,1±0,5	25±11
ПДК (ОДК) [9,10]		32-65-130	55-110-220	0,5-1-2	33-66-132	20-40-80	—	—	300-400-800	2-5-10	2100

Таблица 3

Содержание подвижных форм тяжелых металлов, фтора и азота в почве на территории вблизи КЧХК, мг/кг

№ участка	Глубина отбора, см	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Co	Cr	Mn	F	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
1	0-8(12)	0,77±0,19	5,5±1,1	0,09*	0,25*	1,5±0,5	0,23*	0,34*	90±27	н/о	17,3±1,7	6,3±0,5
5	0-5	2,1±0,5	9,6±1,9	0,25±0,12	0,59±0,12	4,0±1,4	0,60±0,24	0,77±0,19	310±90	н/о	13,4±1,3	1,16±0,23
4	0-15	5,4±1,4	12,6±2,5	0,27±0,14	0,84±0,17	3,4±1,2	0,41*	0,89±0,22	190±60	0,19*	19,2±1,9	2,1±0,4
6	0-15	2,0±0,5	70±14	0,9±0,5	0,60±0,12	4,2±1,5	0,19*	0,77±0,19	1000±300	6,3±0,6	56±4	7,3±0,5
9	0-10	0,77±0,19	6,3±1,3	0,03*	0,62±0,12	0,64±0,22	0,09*	0,27*	53±16	3,9±0,4	5,7±0,9	0,78*
10	0-10	0,13*	3,5*	0,03*	0,24*	0,51±0,18	0,20*	0,09*	60±18	н/о	7,7±1,2	0,57*
11	0-5(10)	1,4±0,4	9,4±1,9	0,15±0,08	0,48*	3,4±1,2	0,52±0,21	1,20±0,29	300±90	н/о	26,4±2,6	1,7±0,3
12	0-4	0,65±0,16	2,8*	0,01*	0,05*	0,16*	0,06*	0,14*	31±9	0,23*	3,7±0,5	н/о
12	4-8	0,56±0,14	3,0*	0,02*	0,05*	0,17*	0,06*	0,14*	30±9	н/о	6,1±0,9	0,61*
14	0-5	1,2±0,3	3,3*	0,03*	0,06*	0,31*	0,12*	0,23*	81±24	н/о	10,2±1,0	н/о
14	5-7	0,50±0,12	2,4*	0,03*	0,02*	0,23*	0,07*	0,17*	55±16	н/о	7,7±1,2	н/о
ПДК (ОДК) [9, 10]		6	23	—	3	4	5	6	60-80-100	2,8	—	—

Примечание. Здесь и далее в табл. 4-5: * – результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемых содержаний, $x < x_{\text{ниж}}$; н/о – не обнаружено; проерк обозначает, что определение не проводилось.

Азот в почву поступает как с выбросами от ЗМУ, так и с грунтовыми и паводковыми водами. Очень высокое содержание и нитратного, и аммонийного азота отмечено на первой площадке, расположенной на территории, примыкающей к ЗМУ, не подверженной затоплению. Очевидно, азот сюда поступает с выбросами. Это подтверждается данными анализа снеговой воды, согласно которому повышенное по сравнению с фоном содержание ионов аммония, фторид- и нитрат-ионов характерно для участков, расположенных в непосредственной близости от комбината и от хранилищ отходов производства [11].

Близкими по составу и свойствам к гидроморфным почвам являются донные отложения, образцы которых отобраны в прибрежной зоне соответствующих водоёмов и водотоков (рис. 2). По гранулометрическому составу это в основном глинистые отложения. В некоторых пунктах (в т. 5 и 6) донные отложения отбирались на расстоянии нескольких метров от мест отбора проб почвы. Для оценки элементного состава донных отложений обычно используют ПДК, принятые для почв. С этих позиций наиболее загрязнёнными являются донные отложения в нижнем течении реки Елховки (т. 6) и в озере Просное (т. 7) (табл. 4–5). Они отличаются повышенными концентрациями тяжёлых металлов, причём как валовых (табл. 4) форм – свинца (до 630 мг/кг), цинка (470 мг/кг), кадмия (до 7 мг/кг), меди (170 мг/кг), хрома (75 мг/кг), мышьяка (17 мг/кг), ртути (23 мг/кг), так и подвижных форм элементов (табл. 5). Очень высокое содержание ртути до 19 мг/кг отмечено в донных отложениях искусственного водотока – коллектора сточных вод г. Кирово-Чепецка и КЧХК (т. 1 и т. 2). В них довольно много цинка, хрома, марганца. Все отмеченные выше пробы донных отложений отличаются значениями содержания подвижного фтора, существенно превышающими предельно допустимые концентрации (табл. 5).

Известно, что с увеличением степени загрязнения почвы обычно возрастает доля подвижных соединений от валового количества соответствующего элемента [12]. Висследованных нами почвах это справедливо только для кадмия и цинка в образце № 6. По отношению к другим элементам каких-либо закономерностей не выявлено. Однако во всех пробах донных отложений по сравнению с почвами доля подвижных форм необычайно высока, причём чем выше степень загрязнения, тем больше содержание подвижных

форм элемента. Например, если процентное содержание подвижного свинца от валового количества варьирует в почвах от 4 до 17%, то в донных отложениях – от 18 до 59%, максимальный процент соответствует наиболее высокому валовому содержанию элемента (в 6 точке).

Результаты радиометрических измерений показали, что значения мощности эквивалентной дозы на территории фоновых участков Кировской области невелики – в среднем 0,08 мкЗв/ч. На территории, прилегающей к КЧХК, были обнаружены участки с повышенным значением МЭД, что свидетельствует о некотором радиоактивном загрязнении.

Практически все измеренные величины МЭД на поверхности почвы в прибрежной части р. Елховки превышают фоновые значения, характерные для территории Кировской области, и варьируют в пределах от 0,17 до 0,33 мкЗв/ч [13]. Повышенное значение МЭД – 0,44 мкЗв/ч – найдено на участке № 7, находящимся в 2 м от уреза воды оз. Просное. Таким образом, мощность эквивалентной дозы γ -излучения на локальных участках исследуемой территории в 3-5 раз превышает средние значения МЭД для Кировской области.

При радиационно-гигиеническом обследовании территории было проведено измерение удельной активности естественных и искусственных радионуклидов в смешанных образцах почв, отобранных на участках

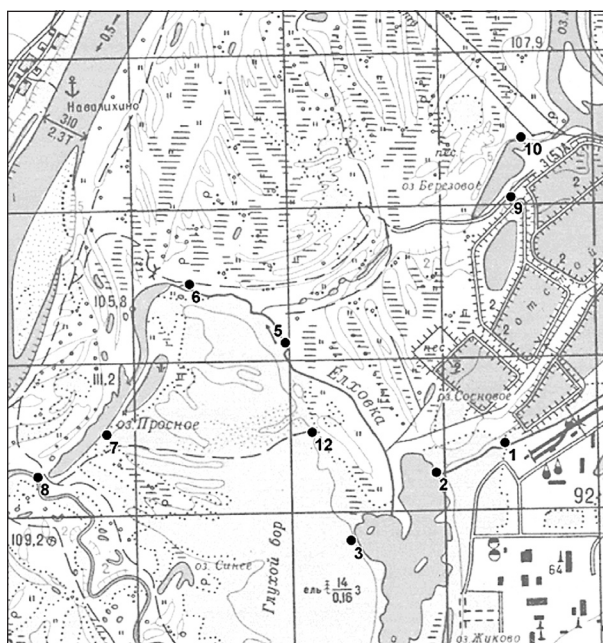


Рис. 2. Карта-схема расположения участков отбора проб донных отложений на территории вблизи КЧХК

Таблица 4

Содержание валовых форм тяжёлых металлов и мышьяка в донных отложениях на территории вблизи КЧХК, мг/кг

№ участка	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Co	Cr	Mn	As	Hg
1	47±12	630±130	1,5±0,8	24±5	40±14	10±4	40±10	2900±900	5,1±2,6	17±4
2	180±40	280±60	2,8±1,4	90±18	90±30	15±6	88±22	950±280	11±5	19±5
3	3,0±0,7	9,7±1,9	0,11±0,06	4,3±0,9	9±3	2,2±0,9	9,6±2,4	62±19	0,9±0,5	0,27±0,07
5	72±18	160±30	1,2±0,6	32±6	39±14	10±4	41±10	800±240	6±3	4,7±1,2
6	630±160	320±60	5,1±2,6	140±28	28±10	5,7±2,3	49±12	520±160	17±8	10,6±2,6
7	390±100	470±90	7±4	170±30	57±20	8±3	75±19	1000±300	10±5	23±6
8	102±26	180±40	1,5±0,8	36±7	28±10	6,4±2,6	29±7	730±220	4,2±2,1	3,8±1
9	31±8	56±11	0,38±0,19	9,6±1,9	17±6	4,4±1,7	17±4	330±100	2,3±1,2	1,05±0,26
10	8,7±2,2	54±11	0,55±0,28	13,5±2,7	28±10	6,9±2,8	24±6	1000±300	4,5±2,2	0,14±0,03
12	3,7±0,9	19±4	0,18±0,09	6,2±1,2	14±5	3,6±1,4	13±3	120±40	1,4±0,7	0,16±0,04
14	2,6±0,6	19±4	0,12±0,06	5,9±1,2	8,2±2,9	1,7±0,7	8,4±2,1	53±16	0,8±0,4	0,13±0,03
ПДК (ОДК) [9, 10]	32-65-130	55-110-220	0,5-1-2	33-66-132	20-40-80	-	-	300-400-800	2-5-10	2100

Таблица 5

Содержание подвижных форм тяжёлых металлов, фтора и азота в донных отложениях на территории вблизи КЧХК, мг/кг

№ участка	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Co	Cr	Mn	F ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
1	13±3	400±80	0,6±0,3	5,7±1,1	6,2±2,2	1,3±0,5	7,4±1,8	2300±700	9,4±0,9	95±7	31,5±2,4
2	57±14	86±17	0,9±0,4	1,5±0,3	8,1±2,8	2,7±1,1	5,1±1,3	600±180	2,70*	76±6	11,6±0,9
3	0,68±0,17	1,3*	0,01*	0,45*	0,23*	0,04*	0,25*	15±5	2,40*	4,3±0,6	0,74*
5	25±6	-	-	2,8±0,6	3,9±1,4	1,4±0,6	2,3±0,6		4,4±0,4	31,7±2,4	6,9±0,5
6	370±90	126±25	3,4±1,7	42±8	3,0±1,0	0,39*	5,5±1,4	290±90	14,3±1,3	11,3±1,1	2,1±0,4
7	190±50	240±50	4,8±2,4	7,1±1,4	9±3	1,0±0,4	7,8±1,9	670±200	13,5±1,2	48±4	0,57*
8	57±14	107±21	1,0±0,5	5,5±1,1	4,7±1,7	1,3±0,5	2,9±0,7	590±180	7,1±0,6	52±4	0,74*
9	17±4	24±5	0,14±0,07	1,9±0,4	1,4±0,5	0,59±0,24	0,85±0,21	230±170	6,2±0,6	8,3±1,2	4,8±1,0
10	1,6±0,4	16±3	0,19±0,09	1,5±0,3	2,6±0,9	0,44*	1,05±0,26	520±160	3,00±0,27	37,4±2,8	13,8±1,0
12	0,73±0,18	5,1±1,0	0,02*	0,48*	0,51±0,18	0,19*	0,30*	54±16	1,22*	21,0±2,1	1,7±0,3
14	0,63±0,16	9,3±1,9	н/о	н/о	0,74±0,26	0,34*	0,44*	41±12	0,50*	н/о	108±8
ПДК (ОДК) [9, 10]	6	23	-	3	4	5	6	60-80-100	2,8	-	-

вблизи оз. Берёзовое и р. Елховки (табл. 6). Содержание естественных и искусственных радионуклидов в почвах не нормируется. Поэтому полученные удельные активности естественных радионуклидов сравнивались

с их кларковыми содержаниями в почве, а искусственных – со среднестатистическими значениями в почвах, обусловленных глобальными выпадениями. Изученные образцы почв имеют низкие величины удельных активно-

Таблица 6

Удельные активности искусственных и естественных радионуклидов в почвах и донных отложениях, Бк/кг

Место отбора	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra	²³⁸ U
Смешанные образцы почв						
5	10,6±2,1	761,0±85,0	141,7±28,3	16,3±3,3	33,2±6,6	46,1±5,5
9	9,3±1,8	<3	121,8±24,4	2,7±0,5	12,8±2,6	12,2±3,0
Донные отложения						
5	19,6±3,9	1226,0±134,8	76,5±15,3	17,5±3,5	34,5±7,0	58,4±7,0
6	94,5±18,9	92,2±10,1	35,0±7,0	8,2±1,6	23,0±4,6	35,1±4,9
7	62,9±12,6	83,8±9,2	55,6±11,2	7,0±1,4	26,5±5,3	99,8±5,3
9	5,6±1,1	<3	128,4±25,7	11,1±2,2	10,3±2,1	22,1±4,5
Кларк, среднестатистическое значение	<120	<452	<750	<53,3	<74	<37,0

Примечание: значение удельной активности радионуклидов со знаком «<» обозначает – ниже чувствительности метода определения.

стей естественных радионуклидов ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, содержание которых меньше кларковых значений в 6-20 раз [14]. Содержание ²³⁸U и средняя удельная активность ¹³⁷Cs в образце из точки № 5 превышает кларк и среднестатистическое значение изотопов в почве в 1,3 и в 1,7 раза соответственно.

Донные отложения являются активным природным аккумулятором вредных техногенных соединений. На территории, прилегающей к химическому комбинату, для спектрометрического и радиохимического анализа были отобраны донные отложения из р. Елховки, из озёр Березовое и Просное. Результаты анализа донных отложений из оз. Просное и р. Елховки показали превышение содержания ²³⁸U в 2,7 и в 1,6 раз соответственно. Кроме того, в донных отложениях р. Елховка средняя удельная активность ¹³⁷Cs превышена в 2,7 раза.

В ходе экотоксикологического анализа не выявлено острого токсического действия проб почвы с исследуемых участков по тест-системе «Эколюм»: индекс токсичности варьировал в пределах от 0 до 17,9 (табл. 7). В результате биотестирования с использованием *Ceriodaphnia affinis* не выявлено острого токсического действия образцов почвы. Процент гибели данного тест-объекта составил 0-15%. Для почвы с участков № 3 и № 14 требуются дополнительные исследования на хроническую токсичность. Индекс токсичности по *Paramecium caudatum* для большинства не превышал 0,4 у.е., что соответствует допустимой степени токсичности, однако проба № 1 характеризуется умеренной степенью токсичности. Повышенное значение индекса

токсичности может быть вызвано близостью расположения от места отбора данной пробы Завода минеральных удобрений. Таким образом, большинство проб являются не токсичными для тест-объектов, за исключением пробы с участка № 1.

Результаты исследования ферментативной активности почв показали, что почвы разных типов отличаются по интенсивности окислительных процессов, оцениваемых по активности фермента каталазы (табл. 8). Подзолистые лесные почвы характеризовались высокими показателями каталазной активности. Так, активность фермента в верхнем слое почвы на участке № 14 составила 5,95 O₂ см³/г мин⁻¹. Высокие значения каталазной активности можно связать с богатством верхних почвенных горизонтов органическим веществом и наличием вследствие этого значительной микробной биомассы, синтезирующей множество ферментов, включая каталазу. Выявлено, что для аллювиальных дерновых почв, так же как и для подзолистых, характерны высокие значения активности фермента. Активность каталазы варьировала в пределах 3,4–5,9 O₂ см³/г мин⁻¹, что соответствует почвам среднеобогатённым данным ферментом. Максимальное значение активности каталазы установлено на участке № 6. Наиболее низкие значения активности фермента характерны для участка № 10, что мы связываем с отсутствием верхнего органогенного горизонта на данном участке. Активность каталазы сильно варьировала, что, вероятно, обусловлено содержанием органического вещества в почве и степенью её нарушенности.

Таблица 7

Результаты экотоксикологического анализа проб почвы

№ участка	Глубина отбора пробы, см	Индекс токсичности по тест-системе «Эколом» (токсичность пробы)	Процент гибели <i>Ceriodaphnia affinis</i> , % (острое токсическое действие пробы)	Индекс токсичности по <i>Paramecium caudatum</i> , у.е. (степень токсичности)
1	5-10	17,9±3,5 (не токсична)	0 (не оказывает)	0,42±0,26 (умеренная)
3	6-10	0 (не токсична)	15±6 (не оказывает*)	0,33±0,20 (допустимая)
4	0-5(7)	15,9±3,1 (не токсична)	5±2 (не оказывает)	0,38±0,23 (допустимая)
5	0-15	16,7±3,3 (не токсична)	10±4 (не оказывает)	0,36±0,22 (допустимая)
9	0-15	11,7±2,3 (не токсична)	10±4 (не оказывает)	0,40±0,25 (допустимая)
10	0-10	8,7±1,7 (не токсична)	0 (не оказывает)	0,36±0,22 (допустимая)
13	3(5)-8	11,6±2,3 (не токсична)	10±4 (не оказывает)	0,30±0,19 (допустимая)
14	0-4(5)	5,7±1,1 (не токсична)	15±6 (не оказывает*)	0,40±0,25 (допустимая)

Примечание: * – требуются исследования на хроническую токсичность.

Таблица 8

Активность почвенных ферментов на территории вблизи КЧХК

Номер участка	Тип почвы	Активность фермента			Степень обогащённости почвы ферментом		
		Каталаза, O ₂ см ³ /г • мин ⁻¹	Инвертаза, мг глюкозы/г почвы • сут ⁻¹	Уреаза, мг NH ₃ /10 г почвы • сут ⁻¹	Каталаза	Инвертаза	Уреаза
1	Антропогенно нарушенная	2,20±0,17	8,54±0,18	50,80±1,4	Бедная	Бедная	Богатая
4	Аллювиальная дерновая	5,90±0,52	4,88±0,22	7,3±0,5	Среднеобогатённая	Очень бедная	Бедная
5	Антропогенно нарушенная	6,43±0,63	6,07±0,20	18,9±0,5	Среднеобогатённая	Бедная	Среднеобогатённая
6	Прирусловый аллювий	13,44±0,87	12,04±0,54	27,1±1,8	Богатая	Бедная	Среднеобогатённая
9	Антропогенно нарушенная	1,20±0,14	8,77±0,12	8,8±0,6	Бедная	Бедная	Бедная
10	Антропогенно нарушенная	0,40±0,14	4,68±0,01	12,1±0,6	Очень бедная	Очень бедная	Среднеобогатённая
11	Аллювиальная дерновая	3,40±0,41	4,24±0,35	4,6±0,6	Среднеобогатённая	Очень бедная	Бедная
13	Подзолистая	0,85±0,07	8,25±0,64	46,9±3,8	Очень бедная	Бедная	Богатая
14	0-4см	5,95±1,02	8,66±0,30	53,3±2,3	Среднеобогатённая	Бедная	Богатая
	4-7см	1,40±0,10	6,95±0,12	113,3±16,5	Бедная	Бедная	Очень богатая

Установлено, что в почвах исследованных участков активность инвертазы изменялась в пределах от 4,24 до 12,04 мг глюкозы/г·сут⁻¹ (табл. 8). В подзолистых почвах активность гидролитического разложения сахарозы почвенной инвертазой микробиологического происхождения варьировала от 6,95 до 8,25 мг глюкозы/г·сут⁻¹. Для антропогенно нарушенных почв значения активности инвертазы были сопоставимы с подзолистыми почвами. В аллювиальных дерновых почвах активность ферментативного гидролитического расщепления сахарозы была в среднем ниже, чем в других типах почв. Максимальное значение активности инвертазы, как и каталазы, установлено на участке № 6. Большинство исследованных почв по степени обеспеченности ферментом относятся к бедным, за исключением аллювиальной почвы – очень бедной по содержанию инвертазы.

Установлено, что активность уреазы в почвах, расположенных на территории вблизи КЧХК, варьировала от 4,6–113,3 мг NH₃/10 г почвы·сут⁻¹ (табл. 8). Наибольшие значения показателя отмечены в подзолистых почвах (46,9–113,3 мг NH₃/10 г почвы·сут⁻¹). По степени обогащённости ферментом почвы данного типа можно отнести к богатым. Для антропогенно нарушенных почв активность уреазы была несколько ниже, чем для подзолистых, за исключением участка № 1, где значение данного показателя составило 50,8 мг NH₃/10 г почвы·сут⁻¹, что, по-видимому, связано с особенностями фитоценоза (лесной фитоценоз, ассоциация – осинник кострещово-снытевый). По сравнению с подзолистыми и антропогенно нарушенными почвами аллювиальные дерновые почвы отличались более низкой уреазной активностью. Скорость разложения мочевины изменялась в пределах 4,6–7,3 мг NH₃/г почвы·сут⁻¹, что характеризует аллювиальные дерновые почвы как бедные по обогащённости ферментом.

В ходе исследований наиболее высокие значения активности каталазы установлены для аллювиальной дерновой почвы и верхнего горизонта подзолистой почвы, более низкие – для антропогенно нарушенных почв. Активность каталазы очень тесно связана с содержанием органического вещества в почве. Наибольшие значения активности инвертазы установлены для подзолистой лесной почвы, наименьшие – для аллювиальной дерновой почвы луговых фитоценозов. Антропогенно нарушенные почвы характеризовались средними значениями активности

фермента. Наибольшие значения показателя активности уреазы отмечены для подзолистых лесных почв и антропогенно нарушенной лесной почвы участка № 1. Для антропогенно нарушенных луговых почв активность уреазы была несколько ниже, чем для подзолистых лесных почв. Аллювиальные дерновые почвы можно охарактеризовать как бедные по обогащённости уреазой.

Максимальные значения активности инвертазы и каталазы, высокие значения активности уреазы установлены для почвы участка № 6. Почва данного участка сильно переувлажнена и подвержена затоплению водами р. Елховки. Избыточная влажность почвы может быть причиной изменения соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов в почвенном микробиологическом комплексе и роста численности микроорганизмов, участвующих в гидролизе олигосахаридов и разложении перекиси водорода. Кроме того, почва на данном участке характеризуется высоким содержанием органического вещества (табл. 1). Высокие значения активности ферментов на участке № 6 могут быть обусловлены значительным содержанием в почве как подвижных, так и валовых форм тяжёлых металлов, фторид-, нитрат-ионов, катионов аммония (табл. 2 – 3).

Выводы

На основании изучения почв и донных отложений физико-химическими, радиологическими и биологическими методами можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что наиболее вероятным источником загрязнения этих сред являются подземные и поверхностные воды, принимающие стоки комбината. Об этом свидетельствуют близкие значения содержания валовых и подвижных форм ТМ, мышьяка, азота на участках с аллювиальными дерновыми почвами (площадки № 4, № 5 и № 11), расположенных на разном удалении и в разных направлениях от источников выбросов, но находящихся в зоне подтопления грунтовыми водами. В загрязнении почв азотом на территории комбината играют роль также и выбросы предприятия.

2. Комплексное загрязнение зафиксировано в гидроморфных почвах на берегах р. Елховки, оно увеличивается вниз по течению (площадка № 6). Здесь немного превышены ОДК цинка, кадмия, марганца, подвижного фтора, высокое содержание азота, особенно его аммонийной формы. Наиболее интенсив-

но загрязняющие вещества накапливаются в донных отложениях. В донных отложениях р. Елховки (т. 6), в озере Просное и на берегах канала-коллектора стоков (т. 1 и 2) в несколько раз выше нормативных концентрации ТМ. Особенно опасно то, что содержание ртути в 1,5-11 раз превышает ПДК, достигая максимальных значений в о. Просное (23 мг/кг). По сравнению с почвами в донных отложениях существенно выше доля подвижных форм ТМ от валовых концентраций соответствующих элементов.

3. Радиометрические исследования на территории, прилегающей к КЧХК, показали, что мощность эквивалентной дозы γ -излучения на прибрежной части р. Елховки от карьера ЗМУ до оз. Просное превышает в 2-4 раза фоновые значения для Кировской области. В пробах почвы и донных отложений на участке р. Елховки содержание ^{238}U и средняя удельная активность ^{137}Cs выше кларковых и среднестатистических значений в 1,5 и 2,7 раза. Повышенное значение МЭД найдено на участке вблизи оз. Просное. На этом же участке в донных отложениях удельная активность ^{238}U в 2,7 раза превышает кларковые значения его в почвах. Следовательно, загрязнённые в прошлом сточными водами производства по переработке уранового сырья донные отложения р. Елховки и оз. Просное в настоящее время являются источником вторичного загрязнения прибрежной части указанных водоёмов.

4. Данные экотоксикологического анализа позволяют сделать заключение о том, что большинство проб почв нетоксичны для биотест-объектов. Одна проба, отобранная вблизи Завода минеральных удобрений, характеризуется умеренной степенью токсичности по тест-объекту *Paramecium caudatum*.

5. Максимальные значения активности почвенных ферментов: инвертазы и каталазы, высокие значения активности уреазы установлены для образца почвы с участка № 6. Это может быть связано как с природными особенностями: сильным переувлажнением почвы, высоким содержанием органического вещества, так и с накоплением загрязняющих веществ в почве.

Литература

1. О состоянии окружающей природной среды в Кировской области в 2007 году. (Региональный доклад) / Под общ. ред. В.П. Пересторонина. Киров: ООО «Триада плюс», 2008. 204 с.

2. Ашихмина Т.Я. Экологические аспекты радиационной безопасности в районе Кирово-Чепецкого химического комбината // «Атомная энергия, общество, безопасность»: Сб. матер. Второго общественного форума-диалога. Санкт-Петербург. 2008. С. 398-403.

3. Ашихмина Т.Я. Проблемы радиоактивных отходов на территории Кировской области // «Атомная энергия, общество, безопасность»: Сб. матер. Общественного форума-диалога. Москва. 2007. С. 233-237.

4. Дружинин Г.В., Лемешко А.П., Синько В.В., Ворожцова Т.А., Нечаев В.А. Загрязнение природных сред вблизи системы водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината // «Региональные и муниципальные проблемы природопользования» Сб. матер. 9-й науч.-практ. конф. Кирово-Чепецк. 2006. С. 125-127.

5. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амеляничик О.А., Большеева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

6. Методика выполнения измерений содержания металлов в твёрдых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М., 1998. 16 с.

7. Методика выполнения измерения массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С. М., 2000. 12 с.

8. Звягинцев Д.Г., Асеева И.В., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: МГУ, 1980. 224 с.

9. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». Утв. 19.01.2006.

10. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». Утв. 19.01.2006.

11. Новокшонова Я.В., Адамович Т.А., Скугорева С.Г., Кантор Г.Я. Оценка содержания загрязняющих веществ в снеговом покрове территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // «Экология родного края: проблемы и пути их решения»: Сб. матер. 4-й обл. науч.-практ. конф. молод. Киров. 2009. С. 46-48.

12. Почвенная съёмка. Руководство по полевым исследованиям и картографированию почв. М.: АН СССР, 1989. 340 с.

13. Адамович Т.А., Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я. Радиометрическое исследование территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // «Экологические проблемы промышленных городов»: Сб. матер. IV Всеросс. науч.-практ. конф. Саратов. 2009. С. 120-121.

14. Перельман А.И., Касимов И.С. Геохимия ландшафтов. М.: Астрель, 2000. 768 с.