

**НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ
РАДИОНУКЛИДОВ ^{90}Sr И ^{137}Cs
В ПОЧВАХ ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА ШАБЛИШ
(ДАЛЬНЯЯ ЗОНА ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА)**

© 2011 А.А.Сутягин, С.Г.Левина, Н.С. Парфилова, В.В. Дерягин

ГОУ ВПО «Челябинский государственный педагогический университет», г. Челябинск

Поступила 13.07.2011

Рассмотрен современный уровень загрязнения почв водосборных территорий озера Шаблиш, расположенного в дальней зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа, долгоживущими радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs . Описаны некоторые закономерности распределения и миграции поллютантов по глубине почвенного профиля.

Ключевые слова: озерные экосистемы, накопление, распределение, миграция химических поллютантов, долгоживущие радионуклиды, удельная активность.

В работе рассмотрено радиоэкологическое состояние почв водосборных территорий озера Шаблиш, расположенного на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС).

Экосистема водоема подверглась импактному техногенному воздействию в результате ряда радиационных катастроф на ПО «Маяк» (Челябинская обл.) [11]. По степени удаленности от источника эмиссии водоем характеризуется как дальнеудаленный (80 км от эпицентра аварии, дальняя зона ВУРС). После аварии 1957 г. отселения населенных пунктов с побережья не производилось, по берегам расположены населенные пункты Шаблиш и Москвино, водоем подвержен достаточно сильной антропогенной нагрузке (распашка земель, рыбная ловля).

В связи с этим встает вопрос о необходимости проведения на территории водоема мониторинговых исследований, в том числе радиоэкологических, для определения возможности интенсификации на нем хозяйственной деятельности. Водоем пресный, относится к эфтрофному типу, по химическому составу воду можно отнести к гидрокарбонатному классу содового (I) типа группы натрия. В воде отмечалось незначительное содержание органического вещества, но фиксировалось завышенное содержание трудноокисляемой органики по величине ХПК, что, очевидно, является местной ландшафтно-лимнологической особенностью [3, 4]. Содержание биогенных и основных ионов в озере не превышает предельно-допустимых концентраций, но находится на уровне значений, благоприятных для развития гидробионтов. Современный уровень удельных активностей воды составляет 0,24 Бк/л по ^{90}Sr и 0,024 Бк/л по ^{137}Cs , что ниже фоновых значений по Уральскому региону, а также ниже уровня вмешательства по НРБ-99/2009 [7].

Таким образом, вода водоема может быть использована в хозяйственных целях без дополнительной очистки от радионуклидов.

С момента аварии 1957 г. уровень самоочищения воды от радионуклидов составил 36 для ^{90}Sr и 12,5 для ^{137}Cs . В то же время, этот процесс во многом обусловлен не распадом долгоживущих радионуклидов, а их перераспределением между основными компонентами озерной экосистемы. Так, удельная активность радионуклидов в верхних слоях донных отложений водоема в настоящее время составляет 1600-1750 Бк/кг по ^{90}Sr и 400-500 Бк/кг по ^{137}Cs , что приблизительно в 30 раз превышает фоновые значения по Уральскому региону.

Наряду с донными отложениями основными накопителями химических поллютантов являются почвы водосборных территорий озер. Являясь активными сорбентами за счет наличия специфических органических веществ, почвы выступают «депо» поллютантов, активно участвуя в их миграции и регулируя процессы перераспределения по основным компонентам экосистем. В результате этого почвенный компонент может выступать в качестве источника вторичного загрязнения водоема на отдаленном этапе техногенного воздействия. В связи с этим изучение почв водосборных территорий при рассмотрении экологического состояния техногенно загрязненных водоемов представляется важной экспериментальной задачей.

Геологическое строение бассейна достаточно разнородное. Территория современного водосбора в основном сформировалась в течение эпох силура, девона и начала каменноугольного периода. Западная часть водосбора имеет более древний возраст, чем восточная. Котловина озера приурочена к породам нижнего отдела силурийской системы, представленной амфиболитами, зелеными сланцами и эффузивными породами базальтового состава. Территория испытала трансгрессию моря в начале кайнозойской эры.

Более ранние геологические структуры частично перекрыты палеогеновыми осадочными морскими породами, которые в свою очередь, перекрыты чехлом четвертичных отложений. В строении водосбора преобладают углистые и глинистые сланцы, амфиболиты, песчаники, конгломераты.

На миграционные процессы и накопление химических поллютантов в почвах оказывают влияние многочисленные факторы, среди которых можно выделить первоначальный уровень загрязнения, удален-

Сутягин Андрей Александрович, канд. хим. наук, e-mail: sandrey0507@mail.ru; Левина Серафима Георгиевна, докт. биол. наук, канд. хим. наук, проф., e-mail: serafima_levina@mail.ru; Парфилова Надежда Сергеевна, e-mail: parfilovanadezhda@mail.ru; Дерягин Владимир Владимирович, канд. геогр. наук, e-mail: vderiyagin@mail.ru.

ность от эпицентра аварии, химический состав почв, их структуру, а также взаимосвязь почв с водной массой водоема [8, 10].

Образцы почв для анализа отбирались в летний период. Определение места закладки почвенных разрезов основывалось на исследовании особенностей ландшафтных катен с учетом влияния грунтовых вод на приозерную территорию [2] и выделением супераквальных и элювиальных позиций ландшафта. Почву из разрезов вынимали слоями с учетом генетических горизонтов до глубины 35-100 см.

Пробоподготовка почвенных проб и аналитические исследования проводились на базе лаборатории физико-химических методов исследований ЧППУ. Определение основных физико-химических показателей почв проводилось по стандартным методикам [1]. Содержание радионуклидов определялось в лаборатории Биофизической станции Отдела континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН. Определение ^{137}Cs в почве проводили на γ -спектрометре фирмы «CANBERA». Относительная погрешность измерения не превышала 20% [5]. Удельную активность ^{90}Sr в почвенных образцах определяли радиохимическим методом выделения радионуклида в виде оксалатов и дальнейшего измерения бета-активности выделенных препаратов

^{90}Sr на малофоновой установке УМФ-2000 и комплексе «Прогресс». Относительная погрешность измерения не превышала 20 % [6]. Определение содержания микроэлементов проводилось на базе лаборатории геоэкологии Института минералогии УрО РАН на атомно-абсорбционных спектрометрах: с пламенным режимом атомизации воздух-ацетилен «Perkin – Elmer 3110» (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Co, Ni), ацетилен – оксид азота (I) (Ba, Sr); с электро-термическим режимом атомизации «Analyst 300, HGA 850» с дейтериевой коррекцией фона фирмы «Perkin – Elmer 3110» (Pb, Cd).

Для почв супераквальных элементов ландшафта характерно повышенное увлажнение неглубоко залегающими грунтовыми водами, высокая продуктивность прибрежных биоценозов и, как следствие, увеличение содержания гумуса в почвах. Эта создает особые условия аккумуляции и миграции поллютантов по почвенному разрезу [2]. Почвенные разрезы закладывались на приозерных террасах на расстоянии 50-150 м от уреза воды. В некоторых случаях подпорные грунтовые воды сравнительно быстро заливали нижнюю часть разреза, что подтверждало его статус как супераквального. Разрезы вскрыли темно-серые и черноземные почвы (табл. 1).

Таблица 1. Описание почвенного разреза супераквальной позиции водосбора

№ пробы	Глубина, см	Горизонт	Мощность, см	Описание
Ша(SS)1/1	0-1,5	A0	0-1,5	Типичная лесная подстилка
Ша(SS)1/2	1,5-25,5	A1	7	Структура мелко зернистая, легкий суглинок, корни берез
Ша(SS)1/3			7	
Ша(SS)1/4			7	
Ша(SS)1/5			7	
Ша(SS)1/6	26-37	A2	5	Серого цвета, легкий суглинок, мелкозернистая структура
Ша(SS)1/7			6	
Ша(SS)1/8	37-51	B	7	Средний суглинок, серовато-охристый цвет с языками вымывания (как A2), есть нора (как A1)
Ша(SS)1/9			7	
Ша(SS)1/10	51-70...	C	7	Материнская порода

Значения pH водных вытяжек супераквальных почв водосбора Шаблиш лежат в слабощелочной и щелочной области (pH 7,5-9,9).

Величина окислительно-восстановительного потенциала для всех лежит в интервале 300-400 мВ, что подтверждает наличие аэробных условий с хорошим промывным режимом в исследованных почвах.

При данных значениях Eh возможно образование Mn^{2+} и денитрификация [9].

Верхние горизонты достаточно сильно гумифицированы: содержание органического углерода в них достигает 7%. Общее содержание органического вещества закономерно уменьшается по глубине почвенного профиля. Для исследованных почв характерен гуматно-фульватный тип с преобладанием фракции гуминовых кислот.

На рис. 1 приведены данные по содержанию и распределению долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs по основным горизонтам профиля супераквальных почв.

Значения удельной активности радионуклидов в верхних горизонтах достигают по ^{90}Sr $67,1 \pm 15,4$ Бк/кг и $153,0 \pm 12,2$ Бк/кг по ^{137}Cs . Наибольшей величиной удельной активности характеризуются слои под подстилкой (верхние слои горизонта A1 на глубине 1,5-6,5 см). В целом для исследованных почв характерно закономерное снижение удельной активности долгоживущих радионуклидов по глубине почвенных разрезов, что объясняется большим содержанием органического вещества в поверхностных горизонтах. В то же время, если вся удельная активность ^{137}Cs сконцентрирована на глубине до 25 см, то ^{90}Sr характеризуется большей миграционной способностью. Он проникает вглубь профиля до материнских пород, на глубине до 25 см распределено лишь 50% активности радионуклида, а удельная активность на глубине ниже 50 см достигает $19,32 \pm 0,67$ Бк/кг. Отношение удельной активности верхнего слоя к нижнему для ^{90}Sr составляет 2,0, для ^{137}Cs 9,2.

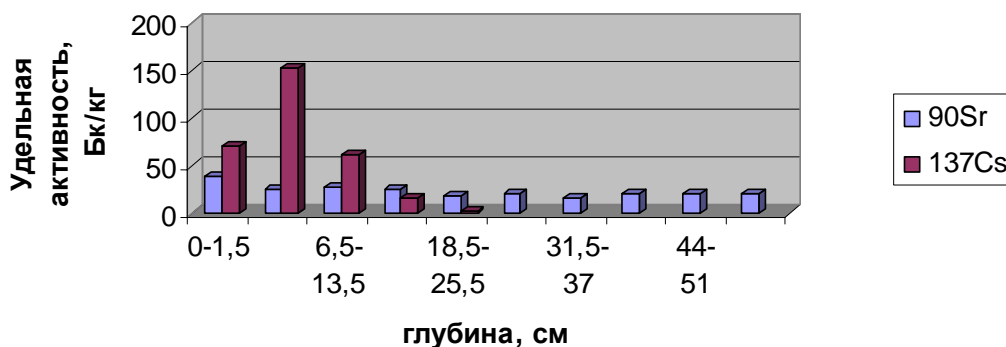


Рис. 1. Распределение удельной активности долгоживущих радионуклидов в супераквальном почвенном компоненте водосбора озера Шаблиш.

Отношение величин удельных активностей $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в верхних слоях составляет 0,16-0,55, и лишь на глубине ниже 15 см повышается до 1,5. Средняя величина отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в верхнем 25-ти сантиметровом слое составляет 0,45. Подобная закономерность характерна для озерных экосистем дальней зоны ВУРСа, так как считается, что по мере удаления от эпицентра аварии 1957 г происходит обо-

гащение радионуклидной смеси цезием. Кроме того, отмечается определенная взаимосвязь между распределением удельной активности по глубине почвенного профиля и изменением в составе органического вещества почвы доли фульвокислот при увеличении процентного содержания последних происходит некоторое возрастание удельной активности ^{90}Sr (рис. 2).

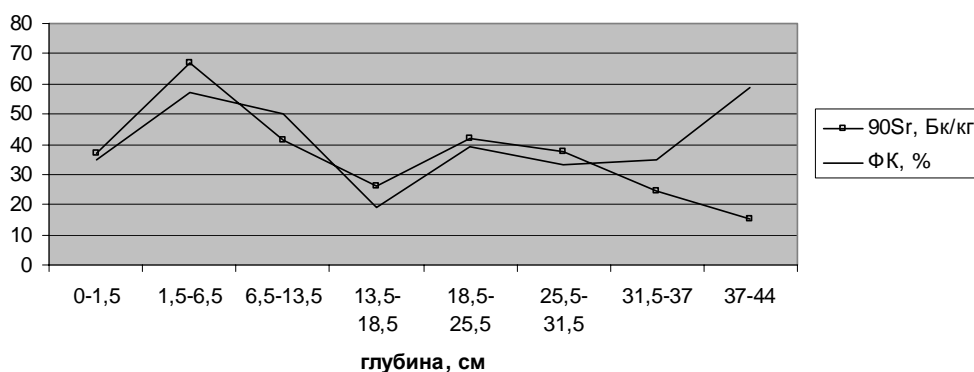


Рис. 2. Изменение удельной активности ^{90}Sr и фракции фульвокислот по глубине почвенного профиля.

Важной характеристикой экологического состояния техногенно загрязненных почв является содержание в них микроэлементов и тяжелых металлов. Проявляя высокую биологическую активность, они оказывают огромное значение на компоненты биоты и на экосистему в целом, а также способны существенно

изменять миграционную способность радионуклидов и их переход в почвенную растительность. В таблице 2 приведены результаты определения содержания некоторых микроэлементов, играющих значительную роль в техногенном загрязнении исследованных территорий.

Таблица 2. Содержание микроэлементов (мг/кг) в почвенных горизонтах супераквальных разрезов

Глубина, см	Горизонт	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
0-1,5	A0	501	32	187	46	17	37	0,51
1,5-7,5	A1	609	35	70	58	23	29	0,72
7,5-13,5		699	30	53	54	24	25	0,72
13,5-19,5		663	30	52	56	23	23	0,72
19,5-25,5		645	29	49	62	27	21	0,72
25,5-31	A2	731	29	51	60	26	25	1,04
31-37		702	28	62	66	30	28	1,04
37-44	B	710	30	55	65	30	26	1,08
44-51		641	29	55	61	32	22	1,08
51-70	C	436	19	45	50	19	23	1,04

Результаты показывают, что микроэлементы достаточно равномерно распределены по всему почвенному профилю. С позиции их содержания исследованные почвы не относятся к токсичным. В некоторых слоях наблюдается незначительное повышение

ПДК по цинку и свинцу, но эти показатели находятся в пределах ОДК.

Для супераквальных элементов ландшафта водосборов характерно повышенное увлажнение за счет атмосферных осадков и неглубоко залегающих грун-

товых вод. Это создает режим увлажнения, при котором наблюдается движение почвенных растворов как сверху вниз, так и снизу вверх. Сочетание промывного и выпотного режима увлажнения создает возможность вымывания радионуклидов. Повышенное увлажнение обуславливает повышенную продуктивность прибрежных биоценозов и повышенное содержание гумуса в почве. Поэтому в супераквальном элементе формируются благоприятные условия для миграции ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Почвенный разрез заложен в 700 м от берега и вскрыл серую лесную почву с элементами оподзоливания (табл. 3).

Значения рН водных вытяжек лежат в слабокислой области (рН 5,76-6,54). Содержание органического углерода в верхних горизонтах составляет 5-8% и уменьшается по глубине почвенного профиля до 0,8-1,2% в нижних горизонтах. Для исследованных почв характерен фульватно-гуматный тип с резким преобладанием фракции фульвокислот. Максимальная удельная активность в почвах элювиальных позиций

характерна для почвенной подстилки. Величины удельной активности достигают $88,6 \pm 5,6$ Бк/кг по ⁹⁰Sr и $47,88 \pm 7,32$ Бк/кг по ¹³⁷Cs (рис. 3).

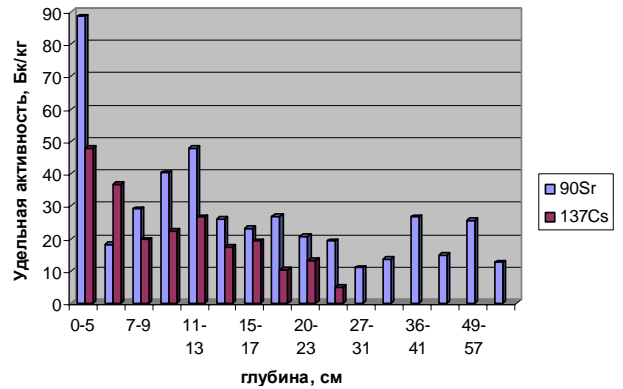


Рис. 3. Распределение удельной активности долгоживущих радионуклидов в элювиальном почвенном компоненте водосбора озера Шаблино.

Таблица 3. Пример описания почвенного разреза элювиальной позиции

№ пробы	Глубина, см	Горизонт	Мощность, см	Описание
Ша S el 1	0-5	A0	5	Степной войлок, коричневый
Ша S el 2	5-7	A1	2	Супесь, черно-серая
Ша S el 3	7-9		2	
Ша S el 4	9-11		2	
Ша S el 5	11-13		2	
Ша S el 6	13-15		2	
Ша S el 7	15-17	A2	2	Супесь, серая с вымыванием черного, с золой
Ша S el 8	17-20		3	
Ша S el 9	20-23	AB	3	Супесь, коричнево-черный
Ша S el 10	23-27		4	
Ша S el 11	27-31	B1	4	Легкий суглинок, коричневый с вымыванием гумуса
Ша S el 12	31-36		5	
Ша S el 13	36-41	B2	5	Легкий суглинок, коричневый
Ша S el 14	41-49		8	
Ша S el 15	49-57	C	8	Тяжелый суглинок, коричневый
Ша S el 16	57...		

Аналогично разрезам элювиальных позиций, цей обладает меньшей подвижностью, проникая до глубины до 23-27 см, в то время как стронций мигрирует до нижних слоев. Отношение удельной активности верхнего слоя к нижнему для ⁹⁰Sr составляет 6,8, для ¹³⁷Cs 9,6. Таким образом, кратности снижения удельных активностей по разрезам для почв супераквальных и элювиальных позиций являются величинами одного порядка.

Средняя величина отношения удельных активностей ⁹⁰Sr/¹³⁷Cs составляет 1,56, что в 3,5 раз выше соответствующих значений для почв элювиальных позиций. Меньшие значения данной величины для супераквальных разрезов по сравнению с элювиальными может быть связано с вымыванием ⁹⁰Sr из почв супераквальных позиций водосборов в водоем. В таблице 4 приведено содержания некоторых тяжелых металлов в образцах почв.

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвенных горизонтах элювиальных разрезов

Глубина, см	Горизонт	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
0-5	A0	842,4	28,8	43,0	68,0	30,7	15,5	3,5
5-7	A1	876,4	31,4	57,5	57,0	21,9	17,0	4,0
7-9		903,6	36,3	63,0	71,0	26,8	18,0	3,5
9-11		1112,2	36,7	62,0	70,0	28,8	15,5	4,5
11-13		852,4	34,4	135,0	65,0	26,5	7,5	4,5
13-15		918,2	34,4	72,0	60,0	26,5	14,0	5,0
15-17	A2	918,2	35,9	66,5	62,5	31,4	20,0	4,5
17-20		917,2	35,4	56,0	72,5	32,4	14,5	4,5
20-23	AB	879,2	38,0	65,5	66,5	33,5	17,5	5,5
23-31		835,0	35,8	62,5	68,0	36,3	20,5	6,0
31-41	B1	1027,0	34,4	76,0	80,5	40,8	19,0	4,5
41-57	B2	778,4	33,4	50,0	74,0	37,9	18,5	5,0
57...	C	896,4	34,4	49,5	72,5	28,9	16,5	4,5

Для почв элювиальных позиций отмечено высокое содержание кадмия (в 1,5-3 раза выше ОДК). Для остальных элементов, аналогично почвам супераквальных позиций, для элювиальных почв не отмечено превышение ПДК по содержанию тяжелых металлов, за исключением цинка, содержание которого на глубине 11-13 см превышает ПДК, но находится в пределах ОДК. Кроме того отмечается, что для почв элювиальных позиций содержание марганца превышает аналогичные значения для почв супераквальных позиций, что можно объяснить вымыванием элемента из супераквальных почв.

Таким образом, показано, что для почв водосборных территорий озера Шаблиш характерны закономерности накопления и распределения химических поллютантов, типичные для почв территорий, подвергшихся импактному техногенному загрязнению. Максимальной удельной активностью характеризуются верхние наиболее гумусированные горизонты. Отношение удельных активностей радионуклидов $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ типично для озерных экосистем, расположенных на периферии ВУРСа. На закономерности миграционных процессов в почве оказывают влияние удаленность от эпицентра аварии, фракционный состав выпавшей радионуклидной смеси, химический состав почв, взаимосвязь почв с водной массой озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ–Урал (грант № 10-05-96012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ариушикина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд. МГУ, 1970. 487 с.
2. *Глазовская М.А.* Общее почвоведение и география почв. М.: Высшая школа, 1981. 400 с.
3. *Левина С.Г., Акеев А.В.* Современная радиоэкологическая характеристика озерных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа. М.: РАДЭКОН; Изд. ЧГПУ, 2010. 238 с.
4. *Левина С.Г., Попова И.Я., Захаров С.Г. и др.* Гидрохимические особенности распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в озерных геосистемах осевой части Восточно-Уральского радиоактивного следа // Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2004. Т. XLVIII. № 2. С. 94-98.
5. Методика выполнения измерений удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах объектов внешней среды. Свидетельство № Ч 147/2002 об аттестации методики выполнения измерений / Гос. ком. РФ по стандартизации и метрологии. 2002.
6. Методика выполнения измерений удельной активности цезия-137 и стронция-90 в почвах и донных отложениях. Свидетельство № Ч 150/2002 об аттестации методики выполнения измерений / Гос. ком. РФ по стандартизации и метрологии. 2002.
7. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09.
8. *Прохоров В.М.* Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование. М.: Энергоиздат, 1981. 98 с.
9. *Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др.* Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв // Почвоведение. 2004. № 6. С. 702-712.
10. *Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Трапезникова В.Н.* Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах. Т. I. Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 2007. 400 с.
11. Экологические и медицинские последствия радиационной аварии 1957 г. на ПО «Маяк». М., 2001. 294 с.

ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF LONG-LIVED RADIONUCLIDES ^{90}SR AND ^{137}CS IN SOILS OF DRAINED AREAS OF SHABLISH LAKE (PERIPHERAL PART OF THE EAST-URALS RADIOACTIVE TRACE)

© 2011 A.A. Sutyagin, S.G. Levina, N.S. Parfilova, V.V. Deryagin

Chelyabinsk State Pedagogical University, Chelyabinsk

Current level of long-lived radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs pollution of soils of Shablish lake drained areas situated in the peripheral part of the East-Urals radioactive trace, has been updated. Some regularities of distribution and migration of pollutions in accordance with soil cuts depth are described.

Key words: lake ecosystems, accumulation, distribution, migration of chemical pollutions, long-lived radionuclides, specific activity.

Sutyagin Andrey Alexandrovich, Candidate of Chemistry, e-mail: sandrey0507@mail.ru; *Levina Serafima Georgievna*, Doctor of Biology, Candidate of Chemistry, Professor, e-mail: serafima_levina@mail.ru; *Parfilova Nadezhda Sergeevna*, e-mail: parfilovanadezhda@mail.ru; *Deryagin Vladimir Vladislavovich*, Candidate of Geography, e-mail: vderyagin@mail.ru.