

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ ^{60}Co

И.В. Кочетков*, В.С. Анисимов*, И.А. Крикунов, М.В. Еремин***

**ГНУВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН, г. Обнинск*

***Обнинский институт атомной энергии НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*



Определена роль физико-химических показателей почв в накоплении ^{60}Co растениями (ячмень). Предложен метод балльной оценки буферности почв по отношению к загрязнению радиокобальтом на основе регрессионного анализа зависимости коэффициентов накопления радионуклида в растениях от основных физико-химических показателей почв. Почвы ранжированы по буферной способности в отношении ^{60}Co .

Ключевые слова: подвижность ^{60}Co , биологическая доступность ^{60}Co , буферность, ячмень, коэффициент накопления, свойства почв.

Key words: ^{60}Co , buffering, barley, the coefficient of accumulation, soil properties.

В связи с развитием атомной энергетики человечество столкнулось с рядом проблем, в частности, с опасностью загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами. Попадая в почву в растворенной форме, радионуклиды становятся доступными для корневого поглощения растениями и дальнейшей миграции по трофическим цепочкам.

Устойчивость почв к воздействию загрязняющих веществ техногенного происхождения определяется их буферной способностью.

Целью работы являлась оценка буферной способности почв как важнейшего фактора их эколого-геохимической устойчивости по отношению к относительно долгоживущему радионуклиду ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27$ лет), представляющему радиологическую опасность в местах расположения ядерных объектов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов для исследований были выбраны шесть видов и разновидностей дерново-подзолистых почв, отобранных на территории Боровского (среднепахотная, среднесуглинистая – образец 1), Жуковского (среднепахотная, супесчаная – образец 2; среднепахотная, среднесуглинистая – образец 3), Малоярославецкого (глубокопахотная, тяжелосуглинистая – образец 4) районов и окрестностей города Калуги (глубокопахотная, среднесуглинистая – образец 5) Калужской области, а также выщелоченные черноземы из Курской и Тульской областей (среднемощный, тяжелосуглинистый – образец 6; маломощный, легкоглинистый

– образец 7 соответственно). Гранулометрический состав и физико-химические показатели почв, представлены в табл. 1–3.

Гранулометрический состав почв определяли с помощью анализатора размеров частиц модели Sedigraph 5120 (Micromeritics), принцип действия которого основан на измерении степени осаждения суспендированных частиц в зависимости от их эквивалентных диаметров (по закону Стокса). В седиграфе с помощью пучка рентгеновских лучей определяется концентрация частиц в суспензии на различной высоте при их осаждении в течение заданных интервалов времени (длительность анализа – 1–6 часов).

Для определения физико-химических показателей почв были использованы общепринятые методы [1]. Сумму поглощенных оснований (S , мг-экв/100 г) определяли по методу Каппена-Гильковица, гидrolитическую кислотность (H_g , мг-экв/100 г) – по Каппену, степень насыщенности почвы основаниями (V , %) – расчетным методом. Емкость катионного обмена (ЕКО) определяли методом Бобко-Аскинази в модификации Грабаровой и Уварова, содержание гумуса – по методу Тюрина. Содержание подвижных фосфора и калия в почвах определяли методом Чирикова, разработанным для некарбонатных почв. Результаты выражались в мг-экв K^+ и $(1/3 \text{ мМ } PO_4^{3-})/100 \text{ г}$ почвы. Подвижные Fe и Mn определяли по методу Тамма. Содержание обменных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ в почвах определяли путем вытеснения их 1 М раствором CH_3COONH_4 (pH 7.0) до прекращения реакции на Ca^{2+} .

Миграционную способность ^{60}Co в системе почва-растение оценивали в модельных вегетационных опытах, проведенных в контролируемых условиях: при температуре и относительной влажности воздуха 18–20°C и 60–70% соответственно, влажности почвы 60% от полной влагоемкости (ПВ). В почвы, изначально не содержавшие ^{60}Co , вносили радионуклид в виде раствора $CoCl_2$ с расчетной активностью. Объектом исследования служил ячмень (*Hordeum Vulgaris L.*) сорта «Зазерский-85». Семена предварительно проращивались в течение двух дней на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой. На пятнадцатые сутки после посадки растения срезали на высоте 0,5 см от поверхности почвы. В подготовленном к анализу растительном материале определяли удельную активность ^{60}Co (в расчете на абсолютную сухую массу). После проведения модельного эксперимента определялась удельная активность ^{60}Co в растениях и коэффициенты накопления радионуклида для исследованных почв (табл. 1).

Концентрацию стабильных Fe, Mn, Ca, Mg, K в почвах, почвенных растворах, вытяжках из почв и в растениях определяли атомно-абсорбционным методом (спектрометр SpectrAA 250 Plus фирмы Varian) и оптическим эмиссионным методом (ИСП-ОЭС спектрометр Liberty II фирмы Varian). Удельную активность ^{60}Co в растениях и почве определяли гамма-спектрометрическим методом (спектрометр ГАММА-1П с полупроводниковым детектором из особо чистого германия с относительной эффективностью регистрации 35%).

Результаты измерений обрабатывались с помощью программы математической статистики в составе MS-Excel.

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ БУФЕРНОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗНЫХ ПОЧВ В ОТНОШЕНИИ МИГРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ^{60}Co

Суть метода состояла в оценке вклада основных физико-химических свойств почв, характеризующих соответствующими показателями (емкостью катионного обмена, содержанием органического вещества (гумуса), содержанием подвижных фосфора и калия, обменных Ca и Mg, обменного калия, подвижных железа и марганца (вытяжка Тамма), а также степенью насыщенности почв основаниями (V , %)

Таблица 1

Физико-химические свойства почв и их вклад в формирование буферной способности исследованных почв в отношении ^{60}Co

Физико-химический показатель	r	$b_{\text{абс.}}$	Вклад факторов $L, \%$	Почвенный образец							Среднее значение показателя
				1	2	3	4	5	6	7	
Fe (по Тамму), мг-экв/100 г	0.34	0.00445	0.149	14.06 ±1.44	8.29 ±0.84	14.01 ±1.24	13.40 ±0.04	17.84 ±0.15	3.34 ±0.03	6.84 ±0.70	11.11
Mn (по Тамму), мг-экв/100 г	0.28	0.01526	0.346	2.76 ±0.09	1.32 ±0.25	3.65 ±0.23	2.16 ±0.01	4.25 ±0.21	0.72 ±0.15	2.19 ±0.12	2.44
P _{поп.} (по Чирикову), (1/3 мм PO ₄ ³⁻)/100 г	-0.29	0.0028	0.068	2.65 ±0.06	4.31 ±0.13	10.87 ±0.20	21.09 ±0.58	1.28 ±0.66	7.33 ±0.16	2.54 ±0.07	7.2
ЕКО, смоль/кг	-0.76	0.0034	0.567	10.11 ±0.18	6.81 ±0.28	12.6 ±1.4	18.12 ±2.29	10.33 ±0.54	41.2 ±0.15	40.23 ±0.72	19.9
V, %	-0.74	0.0040	0.641	87.1 ±1.4	73.1 ±0.06	79.1 ±0.66	92.8 ±0.17	71.1 ±0.3	93.4 ±0.04	88.1 ±0.8	82.1
Гумус, %	-0.44	0.0132	0.725	1.33 ±0.02	1.47 ±0.02	2.0 ±0.02	2.04 ±0.11	4.99 ±0.10	5.14 ±0.11	6.76 ±0.04	3.39
Содержание фракции < 0,01 мм, %	-0.90	0.0044	1.043	42.2	18.4	38.9	47.2	34.5	48.14	62.3	41.7
(Ca ²⁺ +Mg ²⁺) _{обн.} , мг-экв/100 г	-0.87	0.0076	1.677	12.34 ±1.29	7.99 ±1.47	13.00 ±0.53	20.6 ±0.59	8.35 ±0.59	28.19 ±0.19	21.73 ±0.89	16.03
K ⁺ _{обн.} , мг-экв/100 г	-0.87	0.4309	94.784	0.35 ±0.05	0.22 ±0.01	0.16 ±0.01	0.43 ±0.02	0.21 ±0.01	0.52 ±0.11	0.41 ±0.01	0.33
КН (⁶⁰ Co)				0.049 ±0.025	0.183 ±0.003	0.107 ±0.019	0.022 ±0.005	0.118 ±0.057	0.003 ±0.001	0.017 ±0.014	
Буферность почв, балл			100.0	104.0	65.6	49.3	128.8	63.3	157.1	125.0	

(табл. 1), в регулирование подвижности (и биологической доступности) радионуклидов. Последний показатель отражает качественный состав катионов, присутствующих в ППК, и непосредственно связан с такими важными показателями, как гидролитическая кислотность, сумма обменных оснований и pH.

Была составлена матрица, в которой классифицировались физико-химические показатели, являющиеся входными независимыми переменными для различных типов и разновидностей почв. Чем шире ряд исследуемых почв, тем более представительной будет выборка и, соответственно, более достоверными полученные результаты. Далее строилась корреляционная матрица между независимыми переменными (физико-химические показатели почв) и зависимым признаком (коэффициент накопления ^{60}Co в растениях).

Полученные значения коэффициентов парной корреляции (r) указывают на направление и степень сопряженности в изменчивости признаков, но не позволяют судить о том, как количественно меняется результативный признак при изменении факториального. В подобных случаях пользуются регрессионным анализом, основная задача которого состоит в определении формулы корреляционной зависимости.

Использование метода регрессионного анализа позволило получить линейные регрессионные уравнения, связывающие независимые и зависимую переменные. Коэффициенты регрессионного уравнения (b_i) при независимой переменной представляют собой коэффициенты пропорциональности, показывающие, в каком направлении и на какую величину изменяется накопление радионуклида в растениях в зависимости от изменения i -го свойства почвы.

Далее был определен вклад каждой независимой переменной в варьирование общего признака. Для этого были рассчитаны произведения $r_i^2 \times b_i$ (r_i^2 – коэффициенты детерминации) и выбрана переменная с наименьшей величиной вклада агрохимического показателя $L = (r_i^2 \times b_i)_{\min}$. Полученные значения всех остальных переменных нормировались на вышеуказанную величину. Для нее относительная значимость фактора $L_{\text{отн.}} = 1$. После этого рассчитывался относительный вклад каждой независимой переменной в варьирование результативного признака в процентах:

$$\text{Вклад}(\%) = L_i / \sum_{i=1}^n L_i \times 100.$$

Полученные значения вкладов (в %) нельзя умножать на конкретные значения независимых переменных для соответствующих почв, так как они имеют различную размерность, и можно получить несоответствие, например, между вкладом органического углерода и подвижного фосфора в варьирование результативного признака (накопление ^{60}Co в растениях). Например, значения переменных составляют для углерода единицы процентов, а для содержания подвижных форм фосфора – сотни и даже тысячи миллиграммов на килограмм. Необходимо ввести в формулу для определения буферной способности почв не сами значения переменных, а некоторые нормированные величины, отражающие, тем не менее, отличия разных почв по содержанию соответствующих агрохимических показателей.

Существует два варианта решения данной проблемы. Первый вариант заключается в том, что для конкретной почвы значения каждого агрохимического показателя нормируются на максимальное возможное его значение для данного типа, вида и разновидности почв [3]. В данной работе нами предложено провести нормирование соответствующих переменных на средние значения, рассчитанные для взятой на анализ выборки почв.

Часть коэффициентов корреляции имеют положительные значения, другие – отрицательные. Последнее свидетельствует об обратной пропорциональной зависимости между величиной соответствующей переменной и переходом радионуклида в растения, т.е. чем больше значение независимой переменной, тем ниже переход в растения (положительный вклад в буферную способность почв) и наоборот.

Для оценки буферной способности конкретной почвы производилось суммирование значений нормированных показателей (независимых переменных), помноженных на долю их вклада (в %) в общее варьирование зависимой переменной. При этом суммировались произведения, где r между независимой переменной и накоплением радионуклида в растениях имеет отрицательное значение (обратно пропорциональная зависимость), и вычитались произведения, где r имеет положительное значение. В итоге была получена безразмерная величина (выражаемая в баллах), которая характеризует буферную способность почвы по отношению к радионуклиду.

Полученные значения относительных величин буферной способности почв могут быть использованы, например, при обосновании выбора территории для размещения прудов-охладителей ядерных установок и подбора сорбирующих материалов при создании инженерных барьеров, препятствующих распространению жидких радиоактивных отходов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемый методологический подход к оценке относительной буферной способности разных почв в отношении миграционной способности радионуклида ^{60}Co в системе почва-растение является развитием идеи, сформулированной В.Б. Ильиным [3]. С целью оценки вклада различных почвенных свойств в формирование буферной способности почв в отношении тяжелых металлов (ТМ) были использованы результаты классических работ в области агрохимии микроэлементов, проведенных Г.Я. Ринькисом с сотрудниками [4–6]. Выделены наиболее значимые с точки зрения ограничения миграционной способности микроэлементов показатели (содержание гумуса, физической глины, оксидов железа и алюминия, карбонатов и почвенная реакция – pH) и исследована их способность к инактивации содержащихся в субстрате микроэлементов. В.Б. Ильин произвел ранжирование вышеуказанных показателей в соответствии с предложенной им шкалой буферности и рассчитал их вклад (в баллах) в формирование буферности почв в отношении ТМ с применением специальных поправочных коэффициентов относительно содержания гумуса.

Таблица 2

Физико-химические свойства почв

Почва	pH	Hг, мг-экв/100 г	S, мг-экв/100 г	V, %
1	5.97±0.01	1.43±0.25	9.65±1.20	87.1±1.4
2	5.74±0.06	1.18±0.04	3.20±0.71	73.10±0.06
3	5.19±0.05	2.41±0.22	9.10±0.42	79.1±0,66
4	5.90±0.01	1.23±0.04	15.75±0.21	92.8±0,17
5	4.77±0.01	3.83±0.31	9.40±0,16	71.1±0,3
6	5.03±0.01	4.35±0.07	32.30±0.28	88.1±0,8
7	6.01±0.10	2,63±0.18	36.98±0.15	93.4±0.04

Таблица 3

Гранулометрический состав почв

Фракция	1	2	3	4	5	6	7
	Наличие фракции, %						
0.25–0.1	0.2	35.1	2.0	0.4	1.7	0	0.9
0.1–0.05	3.2	15.6	5.3	3.2	7.0	2.9	1.5
0.05–0.01	54.4	30.9	53.8	49.2	56.8	45.0	35.3
0.01–0.005	13.0	5.2	14.1	10.3	9.9	10.7	11.4
0.005–0.001	15.7	7.3	18.0	14.9	14.8	18.3	22.9
0.001–0.0001	7.8	5.9	5.0	21.9	9.8	18.5	28.0
Сумма фракции >0.0001 мм	94.3	99.9	98.2	99.9	99.9	95.4	100
<0.0001	5.7	0.01	1.8	0.002	0.003	4.6	0
Содержание фракции > 0.01 мм	81.6	81.6	61.1	52.8	65.5	47.9	37.7
Содержание фракции < 0.01 мм	42.2	18.4	38.9	47.2	34.5	48.1	62.3

В работе для оценки количественных взаимоотношений между ^{60}Co и наиболее существенными физико-химическими показателями, ранжирования их по вкладу в формирование буферности и расчета буферности почв в отношении радиокобальта используется разнообразие физико-химических показателей, присущее разным почвам (табл. 2). Для этого был задействован достаточно большой набор типов и разновидностей почв, распространенных в центральной части России.

Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов и использованы для оценки буферности в отношении ^{60}Co . Базовым показателем, относительно которого рассчитывается вклад других показателей в формирование буферности, в отличие от методики В.Б. Ильина, выбирается тот, рассчитанный вклад которого в снижение миграционной способности кобальта минимален.

В результате анализа полученных данных было установлено, что корреляционная связь между содержанием подвижного фосфора, подвижных катионов Fe^{3+} , Mn^{2+} и $\text{КН } ^{60}\text{Co}$ слабая (соответствующие значения коэффициентов парной корреляции $r = -0.28, 0.34, 0.29$). Между содержанием гумуса и $\text{КН } ^{60}\text{Co}$ наблюдается средняя обратная (отрицательная) корреляционная зависимость ($r = -0.44$). Между V , ЕКО , содержанием обменных катионов ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) и K^+ , содержанием фракции < 0.01 и $\text{КН } ^{60}\text{Co}$ наблюдается сильная обратная (отрицательная) корреляционная зависимость ($r = -0.74, -0.76, -0.87, -0.87, -0.90$). Таким образом, миграционная способность ^{60}Co в исследованных почвах снижается с увеличением значений большинства из вышеперечисленных независимых переменных за исключением содержания подвижных форм железа и марганца.

Дополнительный анализ парных регрессионных зависимостей между соответствующими почвенными показателями (независимыми переменными) и результативным признаком $\text{КН } ^{60}\text{Co}$ показал, что наибольший вклад в варьирование результативного признака вносит содержание обменного калия. Вклад остальных факторов в варьирование результативного признака невелик (в сумме чуть более 5%).

Рост количества мелкодисперсных частиц (< 0.01 мм) в почве способствует снижению поступления ионов ТМ в растения. Этот факт ранее был зафиксирован

в работах Г.Я. Ринькиса с соавторами [4–6]. Увеличение содержания органического углерода в почвах способствует образованию прочных координационных связей между присутствующими в ультрамикроразнообразиях ионами $^{60}\text{Co}^{2+}$ и функциональными группами специфических и неспецифических органических соединений. Таким образом, ионы кобальта оказываются связанными органическими макромолекулами в почве и не способными к миграции в системе «почва-почвенный раствор-растение». Вклад вышеперечисленных показателей в варьирование результивного признака составляет соответственно 1.04 и 0.73%.

Вклад в варьирование результивного признака $\text{KН } ^{60}\text{Co}$ также вносит показатель степени насыщенности почв основаниями ($V, \%$). Коэффициент регрессионного уравнения (b) для этого фактора равен – 0,004. Вклад в варьирование результивного признака составляет 0.64%. Этот результат ожидаем, поскольку подвижность ионов семейства железа (включая кобальт) сильно зависит от кислотности почвы. По мере увеличения степени насыщенности почвы основаниями растет рН почвенного раствора и, как следствие, снижается содержание в нем ионов кобальта, а значит, и переход их в корни растений.

Если снижение накопления ^{60}Co с ростом значений в почве таких показателей, как содержание гумуса, обменных макрокатионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , степень насыщенности почв основаниями, ЕКО вполне объяснимо с точки зрения роли физико-химических показателей почвы в регулировании подвижности ионов ТМ, то определяющий вклад обменного калия в регулирование поступления ионов ^{60}Co в наземную часть растений ячменя требует пояснений и дальнейших исследований.

Одним из возможных объяснений выявленного феномена является факт неизбежной конкуренции ионов металлов в процессе пассивного поступления их в корни растений. Она проявляется на этапе как взаимодействия ионов с корневым поглощающим комплексом, так и на этапе прохождения через ионные каналы в клеточной мембране растительной клетки. Это связано с тем, что ионы поступают в клетки корня по одному механизму – электрохимической диффузии. Необходимо отметить, что K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} могут также поступать в клетки корня и по механизму активного транспорта с помощью специальных белков-переносчиков ионов (этот механизм преобладает при низкой концентрации вышеуказанных ионов в питательном растворе). Однако для кобальта такой механизм поступления в растения не установлен. Тем не менее, факт существенно более сильного воздействия катионов калия на поступление в растения ^{60}Co по сравнению с ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} нуждается в дальнейшем изучении. Хотя уже на данном этапе исследований становится очевидным, что разгадку этого феномена следует искать в биологических особенностях растений, которые, по-видимому, играют ключевую роль в основе регулирования перехода ионов радиокобальта из почвенного раствора в корневую систему.

Применив вышеизложенную методику оценки буферности почв центра европейской части РФ, получили результаты, которые позволили ранжировать исследуемые почвы по устойчивости, или буферности, к загрязнению ^{60}Co (способности ограничивать миграционную способность радионуклида в системе почва-растение): образец 6 – 157.1 > образец 4 – 128.8 > образец 7 – 125.0 > образец 1 – 104.0 > образец 2 – 65.6 > образец 5 – 63.3 > образец 3 – 49.3. Таким образом, риск получить загрязненную радиокобальтом продукцию на дерново-подзолистой почве (образец 3) в три раза выше, чем на черноземе (образец 6).

Стоит отметить, что из ряда дерново-подзолистых почв наибольшую буферность по отношению к ^{60}Co имеет наиболее окультуренная почва (образец 4).

Рассчитанные с помощью коэффициентов парной корреляции и регрессии значения величины вклада каждой независимой переменной в варьирование общего признака ($L = r_i^2 \times b_i$) позволяют произвести ранжирование рассмотренных физико-химических показателей почв по степени их значимости в снижении накопления ^{60}Co растениями и рассчитать соответствующие доли вклада (в %) в варьирование данного показателя. В результате получен следующий (убывающий в степени значимости) ряд: $\text{K}^+_{\text{обм.}} > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})_{\text{обм.}} > \text{Содержание фракции физической глины} (< 0,01 \text{ мм}) > \text{Гумус} > V > \text{ЕКО} > \text{Mn} > \text{Fe} > P_{\text{подв.}}$

ВЫВОДЫ

Изучены зависимости биологической доступности ^{60}Co от ключевых физико-химических характеристик почв. Произведено ранжирование показателей, отражающих свойства почв, по степени их значимости в снижении накопления ^{60}Co растениями.

Оценена устойчивость почв к радиоактивному загрязнению ^{60}Co , выражающаяся в способности снижать подвижность радионуклида в системе почва-растение (буферность). В соответствии с полученными результатами исследованные почвы можно расположить в ряд: чернозем среднемощный, тяжелосуглинистый (Курская обл.) – 157.1 > дерново-подзолистая глубокопахотная, тяжелосуглинистая (Малоярославецкий р-н Калужской обл.) – 128.8 > чернозем маломощный легкосуглинистый (Тульская обл.) – 125.0 > дерново-подзолистая среднепахотная, среднесуглинистая (Боровский р-н Калужской обл.) – 104.0 > дерново-подзолистая среднепахотная, супесчаная (Жуковский р-н Калужской обл.) – 65.6 > дерново-подзолистая глубокопахотная среднесуглинистая (окрестности г. Калуга) – 63.3 > дерново-подзолистая среднепахотная, среднесуглинистая (Жуковский р-н Калужской обл.) – 49.3

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-04-00513.

Литература

1. Агрехимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. *Алексахин Р. М.* Радиоактивное загрязнение почв как тип их деградации // Почвоведение. – 2009. – № 12. – С. 1487-1498.
3. *Ильин В. Б.* Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрехимия. – 1995. – № 10. – С. 109-113.
4. *Ринькис Г. Я.* Оптимизация минерального питания растений. – Рига: Зинатне, 1972. – 375 с.
5. *Ринькис Г. Я., Ноллендорф В. Ф.* Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. – Рига: Зинатне, 1982. – 301 с.
6. *Ринькис Г. Я., Рамане Х. К., Паэгле Г. В., Куницкая Т. А.* Система оптимизации и методы диагностики минерального питания растений. – Рига: Зинатне, 1989. – 196 с.

Поступила в редакцию 18.10.2011

gas processing, chemical industry, transport, nuclear power engineering, defense industry) is to detect leaks of combustible gases in the early stages. The system allowing one to detect small concentrations of combustible gases in air is capable of detecting an accident situation at an early stage. In the event of timely taken actions, such diagnostics can help prevent the accident situation or confine it in the early stages of its development.

Currently the systems based on capsular solid-electrolyte sensors are under development in the SSC RF-IPPE, which are capable of meeting these requirements.

The sensors monitor the oxygen content in gas including combustible impurities as well and provide the opportunity to make early detection of small concentrations of such impurities.

УДК 621.039.7

SHS-Immobilization of High-Level Waste of An-Tc Fraction into Ceramic-Metal Matrix Materials \ E.E. Konovalov, T.O. Mishevets, S.V. Yudinsev, B.S. Nikonov, Yu.D. Boltoev, S.S. Shulepov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 8 titles.

The study has been performed into metallothermic processes of ceramic-metal (cermets) matrices synthesis for immobilization of Nd, Sm and Re simulating actinides (An) and ⁹⁹Tc of high-level waste (HLW) produced in the mode of self-propagating high-temperature synthesis. These matrices include mineral-like formations having the structure of garnet and pyrochlore fixing neodymium and samarium and alloys fixing rhenium. They are designed for long-term isolation of HLW from the environment.

УДК 621.039.7

Immobilization of Uranium Wastes into Glass-Crystal Matrix Using the Self-Propagating High Temperature Synthesis \ E.E. Konovalov, T.O. Mishevets, S.V. Yudinsev, B.S. Nikonov, Yu.D. Boltoev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The study has been performed into the immobilization of uranium waste into glass-crystal matrix material using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS). Waste reprocessing involved the use of sorbent based on heat-treated silica gel enriched with uranium from liquid waste. The structure of synthesized matrix materials has been investigated by X-ray fluorescence analysis and scanning electron microscopy.

УДК 631.438: 621.41

The Influence of Physico-Chemical Properties of Soils on the Bioavailability of ⁶⁰Co \ I.V. Kochetkov, V.S. Anisimov, I.A. Krikunov, M.V. Eremin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 3 tables. – References, 6 titles.

The role of physico-chemical parameters of soils in the accumulation of ⁶⁰Co by plants (barley) was defined. A method for scoring the buffering capacity of soils as for ⁶⁰Co contamination was proposed. It is based on dependence between the main physico-chemical soil properties and accumulation of the radionuclide in plants (barley). Soils are ranked according to the buffering capacity with respect to ⁶⁰Co.

УДК 621.039.586

Studies of Shutdown BN Reactor Cooling-Down Modes \ E.Yu. Anishev, V.S. Gorbunov, S.M. Dmitriev, S.L. Osipov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles. Emergency cooling modes of shutdown reactor and conditions for coolant natural circulation development are considered.

УДК 621.039.58

Experimental Investigations of Heat Transfer for the Case with Steam Condensing from the Steam-Air Mixture on the Heat-Exchange Surface of the Containment Emergency Pressure Reduction System \ A.M. Bakhmetyev, M.A. Bolshukhin, A.M. Hizbullin, M.A. Kamnev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 1 table. – References, 13 titles.

Presented are experimental investigation results for heat transfer for a case with steam condensing from a steam-air mixture on an S-shaped heat-exchange surface of the containment emergency pressure reduction system. The investigations were conducted in the air mass concentration range of 0.270.7