

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ИЗОТОПА ^{40}K ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЛИНЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

В.Ю. Агеец, З.В. Лозовая

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Институт радиологии, г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость прогнозирования уровня радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции подтверждена практикой. Прогноз радиоактивного загрязнения урожая позволяет заблаговременно планировать структуру посевных площадей, размещение культур на полях севооборота, целевое использование получаемой продукции (на производственные цели, фураж, промышленную переработку и др.). Главная задача прогноза – определить возможность производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции и стоимость затрат, необходимых для получения конечных продуктов питания с допустимым содержанием радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Сорбционная способность почв находится в прямой пропорциональной зависимости от степени дисперсности почвенных частиц. Различия в размерах поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на суглинистых, супесчаных и песчаных почвах варьируют в больших пределах. Гранулометрический состав почвы в значительной степени влияет на прочность закрепления радионуклидов, в том числе и ^{40}K .

Естественный радионуклид ^{40}K является одним из основных источников радиоактивности на земле. Содержание радиоактивного калия составляет 0,0118% по массе, а период его полураспада составляет $1,3 \cdot 10^9$ лет. В целом, естественный радионуклид ^{40}K присутствует в почве, растениях, организмах животных и человека там, где находится стабильный ^{39}K и ^{41}K . Валовое содержание калия в дерново-подзолистых почвах колеблется от 1 до 3% в зависимости от гранулометрического состава

Поглощенные радионуклиды, а также ^{40}K , сильнее закрепляются в почвенно-поглощающем комплексе тяжёлых почв (глинистых и суглинистых), чем лёгких (супесчаных, песчаных). Прочность закрепления ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K повышается с уменьшением размера фракций почв. Наиболее прочно закрепляются радионуклиды фракцией физической глины. Переход радионуклидов в растения, произрастающие на дерново-подзолистых суглинистых почвах, в 1,5-2 и более раз ниже по сравнению с дерново-подзолистыми песчаными почвами. Таким образом, одним из основных факторов, в значительной степени влияющих на переход радионуклидов в звене почва-растение, является гранулометрический состав почв, а точность его определения в производственных условиях увеличивает уровень прогноза загрязнения урожая радионуклидами [1].

Определение гранулометрического состава почвы традиционным лабораторным методом по Н.А. Качинскому (ГОСТ 12536-79) весьма трудоемко и требует больших временных затрат. При спектрометрическом исследовании почв на содержание ^{137}Cs параллельно идентифицируется содержание ^{40}K , который практически не используется. Очевидна необходимость разработки инструментального метода определения содержания физической глины в почве по содержанию ^{40}K , так как фракция физической глины является основным накопителем суммарной радиоактивности.

Фракция физической глины и характеризующие ее минералы (каолинит, монтмориллонит, вермикулит и др.) способна накапливать, как техногенные, так и естественные радионуклиды, включая ^{40}K . Удельная активность изотопа калия в почве находится в прямой зависимости от содержания глинистых частиц в почве. Эта зависимость может быть выражена определенной математической функцией, пригодной для решения задачи по определению содержания физической глины в почве по количеству ^{40}K (для любых минеральных почв, включая дерново-подзолистые) [2].

Предлагаемый нами метод отличается от традиционно применяемого в условиях Беларуси (по Н.А. Качинскому), высокой экспрессностью и экономической эффективностью. Особое значение этот метод будет иметь при агрохимическом и радиоэкологическом обследовании сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами на территории Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований явились дерново-подзолистые автоморфные и полугидроморфные почвы естественных и культурных агроценозов, загрязненные ^{137}Cs и ^{90}Sr после аварии на ЧАЭС. Для изучения влияния гранулометрического и минералогического состава почв на степень закрепления ^{40}K в почве были отобраны пробы в количестве 99 штук на пахотных землях и луговых землях разного

гранулометрического состава, различной степени окультуренности с плотностью загрязнения ^{137}Cs от 313 до 2480 кБк/м² и ^{90}Sr от 2 до 63 кБк/м².

Определение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на исследуемых почвах проводили полевым дозиметром ДРГ-01Т. При отборе проб почвы на глубину 20 см на луговых землях использовали пробоотборник диаметром 30-40 мм, на пашне – тростевой бур. Гранулометрический состав почв определяли традиционным лабораторным методом по Н.А. Качинскому (ГОСТ 12536-79) [3].

Разделение почвенных образцов на гранулометрические фракции проводили методом отмучивания в стоячей воде [4].

Удельную активность ^{40}K в каждой фракции почвы определяли гамма-спектрометрическим методом на гамма-спектрометрическом комплексе «TENNELEK» производства OXFORD INSTRUMENTS, INC (США). Относительная погрешность измерений не превышала 20% [5].

Удельную активность ^{90}Sr в почвенных образцах определяли радиохимическим методом по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на низкофоновой газопроточной альфа-бета установке S5E «CANBERRA» [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под гранулометрическим составом почвы понимается относительное содержание в ней частиц различной величины. Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих физические свойства: пластичность, пористость, сопротивляемость сдвигу, сжимаемость, усадка, разбухание, высота капиллярного поднятия, водопроницаемость и др.

Целью наших исследований являлось провести анализ и установить влияние радиоактивности почв, обусловленной ^{40}K и удельным весом (процентным содержанием) почвенных частиц, а также проанализировать корреляционные связи между отдельными количественными показателями калия в почвах.

В результате исследований распределения радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по гранулометрическим фракциям было установлено, что гранулометрический состав почвы влияет на прочность закрепления микроколичеств радионуклидов. С уменьшением размера почвенных частиц поглощение ими ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{40}K повышается. Наиболее прочно закрепляются радионуклиды фракцией физической глины (<0,01мм).

Спектрометрический анализ фракционного состава почвенных проб показал, что поглощение радионуклидов тонкими фракциями почв значительно (до 77%).

Нашими исследованиями подтверждается, что ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K наиболее активно сорбируется самыми тонкодисперсными (<0,01мм) фракциями почвенного субстрата (фракция физической глины). Очевидно, что эти фракции, имеют наибольшую удельную поверхность по сравнению с более крупными фракциями. По этой причине, фракция физической глины поглощает наибольшее количество радионуклидов в расчете на единицу массы и, соответственно, отличается высокой удельной активностью (Бк/г).

Установлено, что разные по гранулометрическому составу почвы закрепляют разное количество радионуклидов. В табл. 1 представлены наиболее контрастные почвы из исследуемых нами.

Данные таблицы 1 показывают, что среднесуглинистые почвы содержат большее количество радионуклидов, чем связносупесчаные. С уменьшением размера почвенных частиц удельная активность вызванная наличием радионуклидов, повышается. Наибольшее содержание радионуклидов обнаруживается во фракции физической глины (< 0,01).

Несмотря на то, что процентное содержание фракции физического песка преобладает над процентным содержанием фракции физической глины удельная активность последней значительно выше.

В исследованных разновидностях дерново-подзолистых почв с увеличением количества крупных почвенных частиц снижается уровень, как суммарной радиоактивности, так и радиоактивности, обусловленной ^{40}K . Это связано с достоверным уменьшением содержания мелкодисперсных фракций и увеличением количества крупнодисперсных частиц, т.е. чем меньше содержание физической глины в почвенном субстрате, тем ниже суммарная активность почвы, обусловленная ^{40}K .

Таблица 1

**Распределение ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K по гранулометрическим фракциям минеральных почв,
разного гранулометрического состава**

Фракция почвы		Удельная активность					
		^{137}Cs		^{90}Sr		^{40}K	
мм	% (Y)	Бк/г	%	Бк/г	%	Бк/г (A_i)	% (X)
Дерново-подзолистые автоморфные связнопесчаные почвы							
0,5 – 0,25	8,51	0,86 ± 0,17	3,75	0,12 ± 0,02	6,42	0,12 ± 0,02	24,00
0,25 – 0,1	9,75	0,40 ± 0,08	2,41	0,07 ± 0,01	5,54	0,11 ± 0,02	22,00
0,1 – 0,05	23,66	1,10 ± 0,22	16,07	0,12 ± 0,02	21,81	0,05 ± 0,01	10,00
0,05 – 0,01	50,54	2,26 ± 0,45	70,51	0,15 ± 0,03	59,13	0,16 ± 0,03	32,00
<0,01	7,54	3,22 ± 0,64	7,26	0,26 ± 0,06	7,19	0,06 ± 0,01	12,00
Дерново-подзолистые автоморфные связносупесчаные почвы							
0,5 – 0,25	21,55	0,80 ± 0,24	14,18	0,44 ± 0,13	19,99	0,16 ± 0,03	9,18
0,25 – 0,1	19,20	0,79 ± 0,24	12,43	0,37 ± 0,11	14,97	0,29 ± 0,06	16,62
0,1 – 0,05	24,24	0,41 ± 0,12	8,16	0,06 ± 0,02	3,07	0,32 ± 0,06	18,65
0,05 – 0,01	16,16	1,61 ± 0,48	21,35	0,76 ± 0,23	25,90	0,22 ± 0,04	12,55
<0,01	18,85	6,10 ± 1,22	43,89	2,66 ± 0,53	36,07	0,74 ± 0,15	43,00
Дерново-подзолистые автоморфные среднесуглинистые почвы							
0,5 – 0,25	17,06	0,35±0,11	4,06	0,37±0,11	11,90	0,14 ± 0,03	6,22
0,25 – 0,1	24,04	0,39±0,12	4,59	0,27±0,08	8,68	0,13 ± 0,03	5,55
0,1 – 0,05	23,74	0,13±0,04	1,48	0,08±0,02	2,57	0,24 ± 0,05	10,71
0,05 – 0,01	3,81	1,10±0,33	12,95	0,26±0,08	8,36	0,29 ± 0,06	12,75
<0,01	31,36	6,53±1,30	76,92	2,13±0,43	68,49	1,46 ± 0,29	64,77

По данным Я.В. Пейве [6], первичные минералы обычно содержатся в почвенных фракциях диаметром 1-0,002 мм, вторичные – в почвенных фракциях большей степени измельчения и представляют коллоидную часть почвы. Калий содержат ортоклаз, альбит, анортит, мусковит, биотит, роговая обманка. Полевые шпаты, в состав которых входит значительная часть валовых запасов почвенного калия, представляют собой алюмосиликаты калия, натрия и кальция, магния и железа.

Вторичные почвенные минералы имеют диаметр меньше 0,002 мм и относятся к глинам. Такой небольшой диаметр частиц обуславливает их высокую коллоидную активность. Но в составе кристаллической решетки вторичных минералов калия в 100-200 раз больше, чем в поглощенном состоянии [6].

Результаты исследований по изучению распределения ^{40}K между различными гранулометрическими почвенными частицами свидетельствуют о том, что основная доля его в почве обычно закрепляется фракцией физической глины.

Такое поведение ^{40}K связывают с величиной суммарной поверхности почвенных частиц. Для суглинистых и глинистых почв такой подход является правомерным, так как фракция физической глины (частицы диаметром < 0,01 мм) в этих почвах составляет более 20%. Однако в песчаных и супесчаных почвах крупнозернистые фракции доминируют. Поэтому, несмотря на слабую поглотительную способность ^{40}K неглинистыми минеральными компонентами, крупнозернистые фракции могут содержать значительную часть запаса ^{40}K .

В отличие от глинистых минералов сорбция ^{40}K , как и ^{137}Cs органическим веществом почвы носит неселективный характер и является определяющим фактором его поглощения только в некоторых торфяных почвах с содержанием органического более 80% [7].

Вместе с тем органическое вещество способно экранировать минеральные частицы, предотвращая сорбцию ^{40}K [8]. Важным свойством органического вещества также является его участие в формировании органоминеральных комплексов в почве. Следует отметить, что интерпретация уже существующих данных затрудняется тем, что под распределением радиоактивных изотопов по фракциям

гранулометрического состава зачастую понимается его распределение по фракциям агрегатного состава. Например, в работе С.В. Круглова с соавторами был использован метод сухого просеивания, который является методом определения именно фракций агрегатного состава [9].

При определении гранулометрического состава для дезагрегирования, почву подвергают физическому или химическому воздействию. Использование химических методов, например стандартного международного метода «А» (сжигание перекисью водорода) или кислотного-щелочного действия на почву по Н.А. Качинскому может вызывать десорбцию радиоактивных изотопов и его перераспределение из одних фракций на другие за счет вторичной сорбции [10]. В результате чего происходит обогащение мелкозернистых фракций ^{40}K за счет преобладания площади поверхности по сравнению с крупнозернистыми фракциями. На наш взгляд, такой метод физического дезагрегирования, как метод мокрого растирания, представляется наиболее приемлемым компромиссом при изучении распределения ^{40}K по гранулометрическим фракциям песчаных и супесчаных некарбонатных почв. С помощью этого метода основная часть почвенных агрегатов разрушается за исключением некоторых из них, которые являются водопрочными и устойчивыми к механическому воздействию. Темный цвет этих частиц означает наличие глинистых минералов, склеенных гумусовыми цементами, которые могут селективно сорбировать ^{40}K и, следовательно, обогащены ^{40}K по сравнению с чисто минеральными частицами такого же размера. При использовании метода мокрого растирания не происходит химического воздействия на почву и исходное распределение ^{40}K по гранулометрическим фракциям остается ненарушенным.

В таблице 1 приведены данные по процентному содержанию каждой гранулометрической фракции (Y) и удельной активности ^{40}K (A_f). Для количественной характеристики неравномерности распределения ^{40}K по почвенным частицам разного размера приведена величина процентного запаса ^{40}K в гранулометрических фракциях (X). Значение (X) указывает на обогащение изотопом калия (^{40}K) каждой почвенной частицы. В изученных образцах преобладает фракция физического песка, которая изменяется от 69 до 81%. Не смотря на это, наблюдается значительное увеличение концентрации ^{40}K с уменьшением диаметра почвенных частиц и, соответственно, постепенное обогащение мелкозернистых фракций. Для дерново-подзолистых почв значение (X) для фракции $<0,01$ мм достигает 65%. Такое поведение ^{40}K можно объяснить тем, что фракция физической глины в дерново-подзолистых почвах представлена в основном глинистыми минералами [11]. Глинистые минералы слабо ассоциированы с гумусом, который может экранировать их поверхность для ^{40}K в других почвах [9]. Принимая во внимание приведенные данные, можно сделать вывод о том, что кварцевая составляющая песчаных фракций действительно практически не поглощает ^{40}K . Поглощение ^{40}K этими фракциями во многом обусловлено наличием органоминеральных частиц (первичные и вторичные минералы, склеенные гумусовыми цементами).

По результатам исследований установлено, что между содержанием физического песка, физической глины и радиоактивностью почвы, обусловленной ^{40}K , существует тесная линейная зависимость. При этом, между содержанием физической глины и удельной активностью пахотного горизонта, обусловленного ^{40}K , имеется прямая зависимость, а между содержанием физического песка и удельной активностью – обратная. Наглядно это представлено на рис. 1.

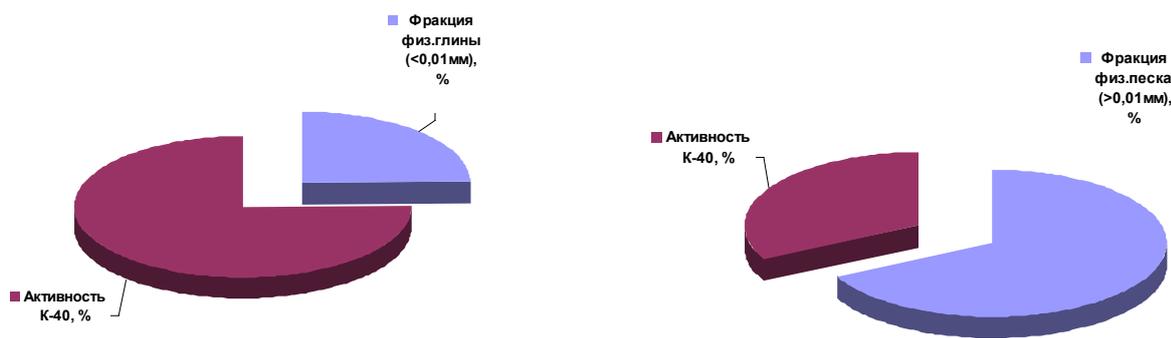


Рис. 1. Содержание физической глины, физического песка и удельной активности, обусловленной ^{40}K

В результате корреляционно-регрессионного анализа установлено, что с увеличением удельной активности ^{40}K прямо пропорционально увеличивается содержание физической глины в дерново-подзолистых почвах (рис. 2).

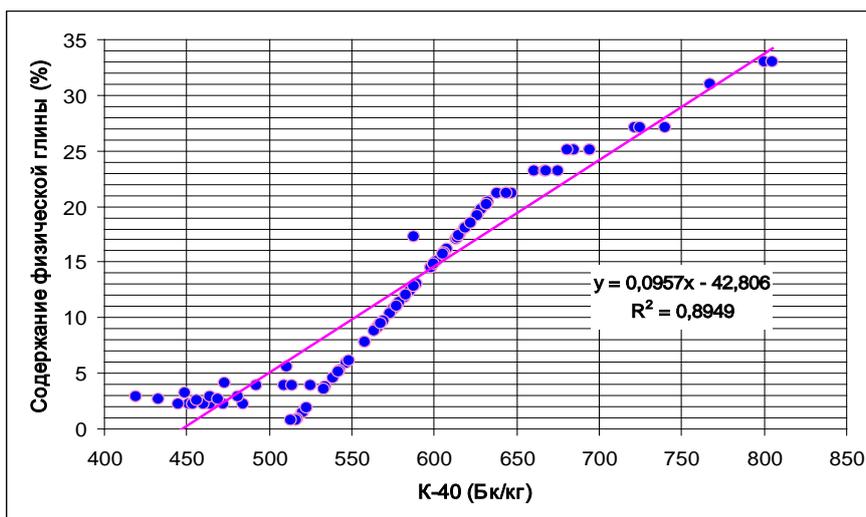


Рис. 2. Количественная связь между содержанием физической глины и удельной активностью ^{40}K

Количественные связи между ^{40}K и содержанием физической глины можно представить линейной моделью. При выяснении зависимости применен однофакторный метод с расчетом частной регрессии. Коэффициент регрессии при независимом члене уравнения одной переменной служит фоном, на котором он действует, и изменение его вызывает изменение величины коэффициента регрессии. Определив удельную активность ^{40}K радиометрическим методом, представляется возможным рассчитать процентное содержание физической глины в почвенном образце.

Уравнение вычислено по 99 образцам дерново-подзолистых почв с вариациями почвенных разновидностей и имеет следующий вид:

$$Y = 0,0957 X - 42,806 \quad (R^2 = 0,89)$$

где Y – содержание физической глины в почве (%);
 X – удельная активность ^{40}K (Бк/кг);
 R^2 – коэффициент корреляции.

Оценка содержания основных фракций дерново-подзолистых почв по методу Качинского или ГОСТ 12536-79 и радиометрическому анализу свидетельствует о высокой сходимости результатов (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение результатов определения содержания фракции физической глины разными методами в образцах дерново-подзолистых почв

Почва	Содержание фракции физической глины < 0,01 мм		Почва	Содержание фракции физической глины < 0,01 мм	
	По методу Н.А. Качинского (ГОСТ 12536-79)	По активности ^{40}K		По методу Н.А. Качинского (ГОСТ 12536-79)	По активности ^{40}K
Дерново-подзолистая связнопесчаная	9,30	10,94	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	27,10	27,83
Дерново-подзолистая связносупесчаная	19,40	17,48	Дерново-подзолистая среднесуглинистая	32,90	36,55
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	25,10	23,74	Дерново-подзолистая связносупесчаная	19,70	17,48
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	32,90	36,00	Дерново-подзолистая связнопесчаная	7,80	9,85
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	27,10	27,83	Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная	10,80	12,03

В результате проведенных исследований установлено, что по уровню естественной радиоактивности дерново-подзолистые почвы следует разделить по почвенным разновидностям. К почвам с низкой активностью ^{40}K относятся рыхлопесчаные, связнопесчаные и рыхлосупесчаные почвы. Группу умеренной радиоактивности составляют, главным образом, связносупесчаные почвы. Средний уровень характерен для большинства почв. В группу повышенной радиоактивности входят дерново-подзолистые глееватые связносупесчаные почвы и лессовидные легко-, среднесуглинистые.

Предлагаемый нами метод отличается от традиционно применяемого в условиях Беларуси (по Н.А. Качинскому), высокой экспрессностью. Особое значение этот метод будет иметь при агрохимическом и радиоэкологическом обследовании сельскохозяйственных земель загрязненных радионуклидами.

Приведем пример расчета содержания фракции физической глины по содержанию ^{40}K в почвенном образце. По результатам спектрометрического анализа почвенного субстрата, отобранного в ходе научных исследований в н.п. Маложинский Брагинского района, идентифицирован ^{40}K , его удельная активность составила 715 Бк/кг. При определении гранулометрического состава установлено следующее содержание: фракция 0,01-0,005мм – 24,15%. Расчетное значение этой величины по уравнению регрессии: $0,0957 \times 715 - 42,806 = 26\%$.

ВЫВОДЫ

В результате исследований распределения радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K по гранулометрическим фракциям установлено, что гранулометрический состав почвы в значительной степени влияет на закрепление радионуклидов. С уменьшением размера почвенных частиц поглощение ими ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{40}K повышается. Наибольшее количество радионуклидов концентрируется во фракции физической глины (<0,01мм).

Спектрометрический анализ фракционного состава почвенных проб показал, что поглощение радионуклидов тонкими фракциями почв может достигать 77 %.

Процентное содержание фракции физического песка преобладает над процентным содержанием почвенных частиц физической глины (<0,01мм), однако суммарная активность последней значительно выше.

Между ^{40}K и содержанием физической глины существует тесная корреляционная связь, позволяющая определить содержание основных гранулометрических фракций. Количественные связи между ^{40}K и содержанием физической глины представлены линейной моделью, применяя которую становится возможным определение принадлежности конкретной почвы к той или иной почвенной разновидности.

Предлагаемый метод отличается от традиционно применяемого в условиях Беларуси (по Н.А. Качинскому), высокой экспрессностью и экономической эффективностью. Особое значение этот метод будет иметь при агрохимическом и радиоэкологическом обследовании сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами на территории Беларуси и прогнозировании загрязнения урожая радионуклидами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеец, В.Ю. Система радиоэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец. – Минск, 2001. – 250 с.
2. Андреева, Е.А. Радиоактивность почв и определение калия радиометрическим методом / Е.А. Андреева // Почвоведение. – 1960. – №5. – С.21-29
3. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-79. – Введ. 01.07.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 26с.
4. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования свойств почв и грунтов / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М: Высшая школа, 1973. – 399 с.
5. МИ 2143-91 МВИ. МН 1181-99
6. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М., 1979. – 340с.
7. Valke E. Sorption-desorption dynamics of radiocaesium in organic matter sols / E. Valke, A. Cremers // The Science of the Total Environment. – 1994. –Vol. 157. – P.275-283.
8. Почвы определение емкости катионного обмена по методу Бобко-Аскинази-Алешина в модификации: ЦИНАО (ГОСТ 17.4.4.01-84). – М.: Изд-во стандартов, 1985.
9. Распределение радионуклидов чернобыльских выпадений по фракциям гранулометрического состава дерново-подзолистых почв / С.В. Круглов [и др.] // Почвоведение. – 1995. – №5. – С. 551-557.
10. Практикум по почвоведению / Под общ. ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 202 с.
11. Воронин, А.Д. Основы физики почвы / А.Д. Воронин. – М.: Изд-во МГУ. – 1986. – 244 с.

**THE NEW METHOD FOR DETERMINATION OF CONTENT
OF PHYSICAL CLAY IN MINERAL SOILS WITH
USING OF NATURAL RADIO-ACTIVITY ^{40}K**

V.Y. Ageyets, Z.V. Lozovaya

Summary

The conducted research show that between ^{40}K and the content of physical clay there is the close correlation communication, allowing defining the quantitative content of the basic mineral fractions at radiological monitoring. Possibility of definition of an accessory of the soils to group of a version without performance of laboratory analyses on an establishment of mineral structure is shown.

Поступила 1 апреля 2010 г.