

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

---

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

Елена Николаевна КАРАБАЕВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ  
ПОЧВЫ НА ПОВЕДЕНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ СТРОНЦИЯ, ЦЕЗИЯ И  
ЦЕРИЯ В МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОЧВА-РАСТВОР И ПОЧВА -  
РАСТЕНИЕ

03.00.01 - радиобиология

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Свердловск

1979

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

---

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

Елена Николаевна КАРАБАЕВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ  
ПОЧВЫ НА ПОВЕДЕНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ СТРОНЦИЯ, ЦЕЗИЯ И  
ЦЕРИЯ В МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОЧВА-РАСТВОР И ПОЧВА -  
РАСТЕНИЕ

03.00.01 - радиобиология

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Свердловск

1978

Работа выполнена в лаборатории радиационной биоценологии и биофизики Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР.

Научный руководитель - доктор биологических наук Н.В.КУЛИКОВ.

О ф и ц и а л ь н ы е о п п о н е н т ы :

Доктор биологических наук, профессор П.Л.ГОРЧАКОВСКИЙ.

Доктор биологических наук, профессор А.Т.МОКРОНОСОВ.

Ведущее учреждение - Институт биофизики Минздрава СССР.

Автореферат разослан "26" января 1973 г.

Защита диссертации состоится "27" января 1973 г.  
в "14" часов на заседании Объединенного Ученого Совета по биологическим наукам при Уральском научном центре АН СССР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР.

Отзывы и замечания просим присылать в 2-х экземплярах по адресу: г.Свердловск, Д-8, ул. 8 Марта, 202, Институт экологии растений и животных УНЦ АН СССР.

Ученый секретарь Объединенного  
Ученого Совета  
кандидат биологических наук

М.Г. НИФОНТОВА

## ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия в системе наук, разработки — ведущих различные аспекты учения о биосфере, возникла новая научная дисциплина — радиэкология. Становление этой науки в значительной степени обусловлено практическими потребностями общества. Бурное развитие атомной промышленности и энергетики создают условия для повышения радиоактивного фона биосферы Земли за счет поступления в нее искусственных радионуклидов. Основные задачи радиэкологии заключаются в выяснении закономерностей миграции, распределения и биологического действия естественных и искусственных радионуклидов в природных биогеоценозах (Кузин, Передельский, 1956; Передельский, 1957, 1958; Поликарпов, 1964; Куликов, 1971).

Теоретические предпосылки для успешного развития радиэкологии были созданы трудами В.И.Вернадского, А.П.Виноградова, Б.Б.Полынова и В.Н.Сукачева в области биогеохимии, геохимии ландшафтов и биогеоценологии. Большое значение для радиэкологии имеют исследования по радиационной биогеоценологии, выполненные под руководством Н.В.Тимофеева-Ресовского.

Всесторонне изучая действие радиационного фактора на биологические системы разных уровней интеграции, радиэкология неразрывно связана с радиобиологией, а также с общей и химической экологией.

Радиоактивные изотопы, попадая на земную поверхность, в первую очередь загрязняют почву и ее растительный покров, откуда мигрируют с почвенно-грунтовыми водами, включаются в различные пищевые и биогеохимические циклы. Поэтому изучение закономерностей поведения радиоизотопов в первичных биогеоценологических звеньях почва-раствор и почва-растение особенно важно. Эти исследования за последние годы приобретают и более общее значение, в связи с возросшей производственно-технической деятельностью человека, в результате которой огромные количества микроэлементов извлекаются из мест их первичной концентрации и затем рассеиваются по земной поверхности промышленными отходами, ядохимикатами и удобрениями. Многие из этих химиче-

ческих элементов включаются в трофические цепи, оказывая токсическое воздействие на живые организмы. В создавшейся ситуации радиоактивные изотопы можно использовать в качестве метки для прослеживания судьбы стабильных изотопов химических элементов в различных компонентах биогеоценозов. Следовательно, радиоэкология наряду с другими смежными научными дисциплинами призвана решать актуальные проблемы охраны и рационального использования биологических продуктивных сил Земли.

Стронций-90, цезий-137 и церий-144 относятся к числу наиболее опасных продуктов деления тяжелых ядер, поскольку они способны активно включаться в пищевые экологические цепи и накапливаться в тканях растений, животных и человека. Обладая жестким бета- и гамма-излучениями, указанные изотопы являются источниками внутреннего и внешнего облучения организмов.

К настоящему времени собран обширный материал, позволяющий судить о поведении радиоизотопов в модельных системах и природных условиях - почвах, биогеоценозах, ландшафтах. Согласно имеющимся данным, поведение радионуклидов в почвах, их подвижность и доступность растениям зависит от совокупного действия различных факторов, к которым относятся условия внешней среды, тип почв и физико-химические свойства самих элементов. Экспериментальное изучение значения этих факторов, оценка их роли в миграции радиоизотопов в системах различной сложности является одной из важных проблем радиоэкологии.

Известно, что водный режим почв в значительной мере влияет на процессы жизнедеятельности растений и темпы вовлечения химических элементов в биологический круговорот. Однако роль почвенной влаги в процессах миграции и накопления радиоактивных изотопов в почвенно-растительном покрове изучена еще недостаточно, а имеющиеся по этому вопросу немногочисленные данные довольно противоречивы.

Настоящая работа посвящена сравнительному изучению влияния влажности почвы на поведение стронция-90, цезия-137 и церия-144 в системах почва-раствор и почва-растение. При этом было уделено также внимание целому ряду других факторов миграции: физико-химическим свойствам почвы, биологическим и экологическим особенностям растений, присутствию в среде кальция и ка-

лия, которые являются химическими макроэлементами стронция-90 и цезия-137 соответственно.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для проведения опытов были использованы радиоактивные изотопы ( стронций-90, цезий-137 и церий-144 ) квалификации "РХЧ" в виде хлористых соединений без добавления носителей.

Опыты проведены на трех почвах, принадлежащих к разным почвенно-географическим зонам: дерново-луговой, горизонт А ( Южный Урал, Ильменский заповедник ); дерново-подзолистой, горизонт А<sub>2</sub> ( Средний Урал, Свердловская область ) и торфянисто-глеевой, горизонт В<sub>2</sub> ( лесотундра Зауралья, стационар "Харп" ). Химическая характеристика почв приведена в таблице I.

В почву фракционированным поливом с последующим перемишиванием вносили растворы солей стронция-90, цезия-137 и церия-144. Концентрация радиоизотопов в воздушно-сухой почве составляла в лабораторных опытах 400 - 2000 мкюри/кг, а в вегетационных опытах - 90-360 мкюри/кг в зависимости от элемента.

В лабораторных опытах воздушно-сухую почву, содержащую радиоизотоп, увлажняли так, что отношение объема воды (мл) к весу почвы (г) составляло в зависимости от варианта опыта 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 и 20,0. Эти значения в дальнейшем будем называть коэффициентами обводненности почвы. Об адсорбционной способности почвы судили по величине коэффициента распределения, который определяли как отношение концентрации радиоизотопа в почве к концентрации его в равновесном растворе.

Навески влажной почвы ( коэффициенты обводненности < 1 ) в плотно закрытых бюксах помещали на 10-20 дней в эксикаторы с водой, а почвенные суспензии ( коэффициенты обводненности > 1 ) взбалтывали в течение двух часов в закрытых стаканчиках из оргстекла. Как показали специальные опыты, за такое время достигалось равновесное распределение изучаемых радиоизотопов между жидкой и твердой фазами почвы при всех принятых нами режимах увлажнения. По достижении равновесного распределения радиоизотопов в системе почва-раствор почвенные навески из всех вариантов опыта подвергали центрифугированию при скорости 5000

Таблица I

## Химическая характеристика почв

Почва	Горизонт: в глуси- на, см	Потери: при прогре- вании, %	Тумус, %	Обменные ос- нования в мг- экв/100 г			: Водной химический состав в % на проанализируемую навеску				рН		
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	М <sub>1</sub> <sup>++</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO		MgO	вод- ный
Дерно- во-лу- говая	А (0-10)	4,48	12,20	40,00	12,00	57,51	17,55	7,54	8,15	6,10	6,8	5,5	
Дерно- во-лу- говая	А <sub>2</sub> (15-20)	1,10	2,67	0,70	3,30	1,40	75,08	15,78	3,16	1,74	1,13	5,7	4,6
Торфо- во-лу- говая	В <sub>3</sub> (24-37)	2,36	4,02	1,03	4,40	5,00	71,81	13,47	4,21	1,77	1,51	4,7	3,8

Х/ Данные взяты из работ Е.П.Фирсовой и Г.К.Рябенниковой (Фирсова, Рябенникове,  
1966).

об/мин на центрифуге типа ЦЛС-3. При этом влажную почву у центрифугировали в пробирках с перфорированным дном. Все опыты проведены в шести повторностях.

Вегетационные опыты проводили в условиях вегетационного домика. Почву после внесения радионуклидов доводили до воздушно-сухого состояния, а затем помещали в вегетационные сосуды (по 2 кг на один сосуд в двух повторностях). В зависимости от варианта опыта, влажность почвы поддерживали в следующих пределах: 1) от полной влагоемкости до наименьшей влагоемкости; 2) от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капилляров; 3) от влажности разрыва капилляров до влажности завядания. Выбор этих интервалов увлажнения обусловлен тем, что при переходе от одного из них к другому резко изменяется подвижность влаги в почве и, следовательно, доступность ее растениям.

Влажность почвы в сосудах в течение опыта поддерживали примерно в середине каждого из вышеуказанных интервалов, что составляло 80, 50 и 25 % от полной влагоемкости почвы. Отношение объема воды (мл) к весу почвы (г) при этом приближалось соответственно к 0,3; 0,2 и 0,1. Опыт продолжался 30 дней. В течение этого времени заданный уровень влажности контролировали весовым способом.

Сосуды засеивали семенами девяти видов растений из семейства злаков и бобовых. По требованию к почвенному увлажнению в естественных условиях произрастания подопытные растения можно разделить на три экологические группы. 1. Гигромезофиты: лисохвост луговой (*Alopesurus pratensis* L.) и бескильница Гунта (*Puccinella Hauptiana* (Trin.) V.itez); 2. Мезофиты: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Kuds.), овсяница тростниковая (*Festuca arundinacea* Schreb.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), костер безостый (*Bromus inermis* L.) и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.); 3. Ксеромезофиты: житняк ширококопосый (*Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult.) и овсяница овечья (*Festuca ovina* L.). Таким подбором растений предполагалось приблизить каждый вариант опыта по влажности почвы к оптимальным условиям произрастания одной из трех групп, оставляя другие группы в менее благоприятных условиях. Растения выращивали в монокультуре. За время опыта они успевали развиваться



до фазы 2-3 настоящего листа, а корни проникнуть до дна сосу -  
да. По окончании опыта растения разделяли на надземную массу  
и корни, из которых готовили пробы для радиометрического ана -  
лиза.

Содержание калия в растениях и почвенных растворах опре -  
деляли с помощью пламенного фотометра типа ППФ-УНИИЗ, а содер -  
жание кальция-комплексометрическим методом.

Радиоактивность образцов почв и зольных препаратов рас -  
тений измеряли с помощью радиометра ПП-8 со счетной трубкой Т -  
-25-БФД. Пробы растворов выпаривали досуха под сушильной лам -  
пой и просчитывали на малофоновой установке типа УМФ-1500 со  
счетной трубкой СБТ-13. Время измерения образцов выбиралось та -  
кое, чтобы статистическая ошибка счета не превышала 3-5 %. При  
расчетах везде, где было необходимо, вводили поправки на само -  
поглощения и радиоактивный распад.

#### Результаты опытов и их о б с у ж д е н и е .

##### А. Поведение стронция-90, цезия-137 и церия-144 в системе почва - раствор

В серии лабораторных опытов изучено сравнительное рас -  
пределение радиоизотопов в системе почва-раствор в зависимости  
от режима почвенного увлажнения, который варьировали изменени -  
ем в широких пределах величины коэффициента обводненности поч -  
вы.

Проведенные опыты показали, что с увеличением жидкой фа -  
зы в исследуемой системе концентрация стронция-90 в растворе  
закономерно снижается, а коэффициенты распределения соответст -  
венно возрастают (таблица 2). Необходимо отметить, что п р и  
увеличении коэффициента обводненности почвы в 200 раз концент -  
рация стронция в растворе снижается лишь в 50 раз. Следова -  
тельно, характер изменения концентрации этого радионуклида в рас -  
творе нельзя объяснить простым разбавлением исходного количест -  
ва его растворимой формы. Как будет показано далее, с увеличе -  
нием содержания воды в изучаемой системе общее количество  
растворенного стронция в водной фазе возрастает за счет допол -  
нительного поступления его из почвы.

Таблица 2  
 Концентрация радионуклидов в растворе (расп/мин на 1 мл) и коэффициенты распределения  
 (к.р.) в зависимости от обводненности дерново-луговой почвы

Кoeffи- циент обводнен- ности почвы	Стронций - 90		Цезий - 137		Церий - 144	
	контент- рация	к.р.	контент- рация	к.р.	контент- рация	к.р.
0,1	55380	26±3	760	1450±140	1260	3175±500
0,2	40200	36±1	620	1790±180	880	4535±450
0,3	13690	106±9	730	1515±120	920	4330±400
0,5	6320	229±8	2610	420±30	3070	1305±130
1,0	6470	224±6	4580	240±10	4070	980±100
2,0	4320	335±5	4820	228±24	4330	925±90
5,0	2800	517±18	2640	417±35	2210	1810±180
10,0	2410	600±69	1320	830±60	1790	2230±200
20,0	1010	1420±33	730	1515±120	770	5195±500

В отличие от стронция-90, распределение цезия-137 и церия-144 в системе почва-раствор носит более сложный характер. При относительно малом содержании влаги в почве (коэффициенты обводненности от 0,1 до 0,3) концентрация цезия и церия в растворе изменяется незначительно. При более высоком увлажнении, на границе перехода от влажной почвы к почвенной суспензии (коэффициенты обводненности от 0,5 до 2,0) концентрация обоих радиоизотопов возрастает, а с дальнейшим увеличением обводненности почвы снова снижается. В соответствии с изменением концентрации излучателей в растворе изменяются и коэффициенты распределения.

На рис. 1 приведены значения коэффициентов распределения всех трех изучавшихся радиоизотопов во влажной почве, при переходе ее к почвенной суспензии и в разбавленной суспензии, характеризующихся коэффициентами обводненности 0,2; 2,0 и 20,0 соответственно. Во влажной почве коэффициенты распределения стронция-90 примерно в 50 раз ниже коэффициентов распределения цезия-137 и более чем в 100 раз ниже таковых церия-144. Следовательно, во влажной почве подвижность изучаемых радиоизотопов в системе почва-раствор изменяется в ряду:  $Sr^{90} \gg Cs^{137} > Ce^{144}$ . При переходе к почвенной суспензии коэффициент распределения стронция почти на порядок величины возрастает, а коэффициенты распределения цезия и церия соответственно уменьшаются. В результате цезий оказывается относительно более подвижным, чем стронций, а подвижность церия также заметно увеличивается.

В сильно разбавленной почвенной суспензии (коэффициент обводненности 20,0) коэффициент распределения стронция еще более возрастает, при этом коэффициенты распределения цезия и церия достигают примерно тех же значений, что и во влажной почве. В такой системе относительная подвижность стронция и цезия выравнивается, а подвижность церия и в этом случае остается самой низкой.

Аналогичные результаты получены в серии опытов с дерново-подзолистой и торфянисто-глеевой почвами.

Рассмотренный материал показывает, что величина коэффи -

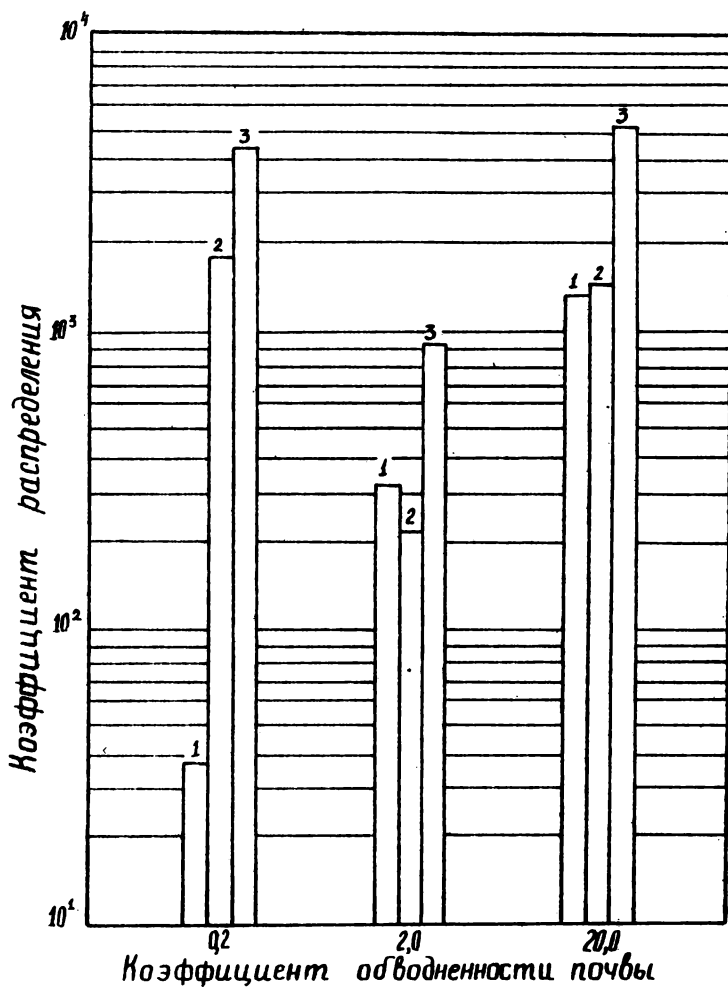


Рис. I. Коэффициенты распределения радиоактивных изотопов в зависимости от обводненности дерново-луговой почвы. 1- стронций-90; 2- цезий-137; 3- церий-144.

цента распределения однозначно отражает относительную подвижность радионуклидов в системе почва-раствор лишь в условиях одинаковой увлажненности почвы. При разных режимах почвенного увлажнения подвижность радионуклидов целесообразнее выражать величиной той части общего содержания радионуклида в почве, которая удерживается в растворе. В конечном итоге только растворенная часть излучателя способна с наибольшей вероятностью мигрировать за пределы первично загрязненного слоя почвы, она же в первую очередь поглощается корневыми системами растений.

В результате проведения лабораторных опытов установлено, что общее содержание радионуклидов в растворе в значительной степени зависит от увлажнения почвы.

При малом увлажнении почв (коэффициент обводненности  $< 1$ ) стронций содержится в растворе на один-два порядка величины больше, чем цезий и церий; при высоких же значениях коэффициентов обводненности относительное содержание этих радионуклидов более или менее выравнивается, а в отдельных случаях цезий переходит в раствор даже больше, чем стронций. Следовательно, при сильном переувлажнении почв цезий и церий по подвижности в системе почва-раствор приближаются к стронцию. При всех режимах почвенного увлажнения церий переходит в раствор в меньших количествах, чем цезий.

Учитывая относительно высокую подвижность стронция-90 в системе почва-раствор при малой обводненности почвы, можно было ожидать, что в природных почвах стронций проявит себя более мобильным, чем цезий и церий. Однако имеющиеся в литературе данные показывают, что параметры вертикальной миграции этих радионуклидов в почвах естественных биогеоценозов оказываются весьма близкими (Мехонин и др., 1965; Мехонько, Чумичев, 1969; Кудиков, Пискунов, 1970). Полученные в нашей работе результаты дают основание предполагать, что сезонные колебания почвенного увлажнения в естественных условиях являются одной из причин нивелирования темпов миграции радионуклидов в почвах.

Независимо от условий увлажненности, миграционная способность изученных радионуклидов возрастет в ряду почв: дерново-луговая, торфянисто-глиеая, дерново-подзолистая.

Б. Поведение стронция-90, цезия-137 и церия-144  
в системе почва - растение

В вегетационных опытах предстояло выяснить закономерно - сти поведение интересующих нас радиоизотопов в более сложной системе почва-растение при разных режимах увлажнения почвы. Подвижность радионуклидов в данной системе характеризовалась величиной коэффициента накопления (отношение концентраций радиоизотопа в надземной массе растений и в почве) и общим выносом элементов растениями.

В пределах от полной влагоемкости до влажности завядания влажность исследованных почв существенно влияет на биомассу растений. При влажности 80 % от полной влагоемкости почвы абсолютно-сухой вес надземной массы подопытных растений в 1,5-5 раз (в зависимости от типа почвы и вида растения) больше, чем при влажности 25 %. Прямая зависимость между степенью почвенного увлажнения и нарастанием биомассы отмечена у растений всех трех экологических групп, что связано с определенной устойчивостью распределения подопытных растений по признаку их отношения к почвенной влаге.

Поскольку между экологическими группами растений не оказалось существенных различий в накоплении излучателей, в таблице 3 для примера приведены усредненные данные по группе растений - мезофитов для всех трех исследованных почв. Можно заметить, что величина коэффициентов накопления радиоизотопов у растений, произрастающих на дерново-луговой и дерново-подзолистой почвах, практически не зависит от степени увлажнения. На торфянисто-глеевой почве недостаточное содержание влаги приводит к снижению коэффициентов накопления.

Во всех случаях значения коэффициентов накопления стронция примерно в 5-7 раз выше таковых цезия и в 30-140 раз выше коэффициентов накопления церия. Для дерново-луговой почвы, отличающейся от двух других почв повышенным содержанием органического вещества, обменных  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Mg}^{++}$ , а также илистых частиц, коэффициенты накопления радионуклидов растениями в 3-20 раз (в зависимости от элемента и условий увлажнения) меньше, чем для торфянисто-глеевой и дерново-подзолистой почв.

Таблица 3  
**Коэффициенты накопления радиоизотопов для надземной  
 массы растений в зависимости от влажности почв. Усредненные  
 данные по группе растений - мезофитов**

Почва	Влажность почвы, % от полной влажности - кости	Стронций-	Цезий -	Церий -
		-90	-137	-144
Дерново- луговая	25	1,69±0,11	0,32±0,07	0,012±0,001
	50	1,66±0,12	0,28±0,05	0,012±0,001
	80	1,33±0,09	0,23±0,05	0,015±0,001
Дерново-под- золистая	25	10,73±0,99	1,52±0,12	0,16±0,02
	50	9,68±0,70	1,44±0,13	0,17±0,01
	80	9,70±0,40	1,31±0,07	0,16±0,01
Торфянисто- глеевая	25	5,40±0,69	0,80±0,09	0,18±0,01
	50	6,85±0,83	1,05±0,11	0,23±0,02
	80	9,64±0,70	1,34±0,12	0,25±0,02

Установлено, что общий вынос стронция-90, цезия-137 и церия-144 надземной массой растений находится в прямой зависимости от влажности почв. При этом величина выноса радиоизотопов из дерново-луговой и дерново-подзолистой почв определяется в основном биомассой растений. Вынос радиоизотопов из торфянисто-глеевой почвы обусловлен также концентрацией излучателей в растениях, изменяющейся под влиянием режима почвенного увлажнения.

Характер распределения радионуклидов, поступивших в растения, не зависит ни от типа почвы, ни от ее влажности: стронций-90 преимущественно (до 94 %) накапливается в надземной части растений; цезий-137 распределяется более или менее равно -

мерно, в церий-144 содержится в основном (до 90 %) в подземных органах растений.

При оптимальной влажности почв (50 % от полной влагоемкости) коэффициенты накопления стронция-90 для наземной массы растений - мезофитов более всего варьируют в опыте с торфянисто-глеевой почвой (от 3,31 у овсяницы красной до 16,06 у клевера лугового).

Коэффициенты накопления цезия-137 изменяются в следующих пределах: от 0,11 у овсяниц луговой и красной до 0,70 у клевера лугового (дерново-луговая почва); от 0,81 у овсяницы красной до 2,01 у клевера лугового (дерново-подзолистая почва) и от 0,32 у овсяницы луговой до 2,21 у костра безостого (торфянисто-глеевая почва). Накопление церий-144 в зависимости от видовых особенностей растений колеблется в менее широких пределах. Необходимо отметить, что по всем трем радионуклидам наиболее высокими коэффициентами накопления среди изученных видов растений обладает, как правило, клевер луговой.

В. Поступление химических элементов-аналогов  
( $Sr^{90}$  - Са и  $Cs^{137}$  - К) в зависимости от влажности

П О Ч В Ы

Поведение радионуклидов в системе почва-растение в значительной мере определяется содержанием в среде макроколичеств их изотопных и неизотопных носителей. При этом, несмотря на сходство химических свойств микро- и макрокомпонента, полной аналогии в их поведении не наблюдается, поскольку элементы даже с близкими свойствами могут различаться по степени доступности из почвы растениям. Известно, что величина отношений (радионуклид, пкюри/элемент-аналог, г) в растении зависит от типа почвы, форм соединений химических элементов и биологических особенностей растений (Павлюкья и др., 1966; Юдинцева, Гулякин, 1968; Гольцев, Алексахин, 1969).

Нами было изучено поступление элементов-аналогов ( $Sr^{90}$ -Са и  $Cs^{137}$ -К) в растения в зависимости от влажности почвы.

Результаты этой серии опытов показали, что поступление химических элементов-аналогов ( $Sr^{90}$ -Са и  $Cs^{137}$ -К) из дерново-луговой и дерново-подзолистой почв идет независимо от почвенного увлажнения. Поэтому величине отношений  $Sr^{90}/Ca$  и



Сз <sup>137</sup>/К в надземной массе растений имеет постоянное значение (табл. 4).

Поступление радионуклидов из торфянисто-глеевой почвы, как правило, снижается с уменьшением ее влажности. Соответствует — вено, в надземной массе растений уменьшается содержание стронция-90 относительно кальция и цезия-137 относительно калия. Влияние режима увлажнения торфянисто-глеевой почвы на относительное накопление этих элементов проявляется в различной степени у разных видов растений.

В целом анализ полученных результатов показывает, что поступление в растения радиоизотопов стронция-90 и цезия-137 относительно их химических макроаналогов кальция и калия в основном определяется всем комплексом физико-химических свойств изучавшихся типов почв.

### В ы в о д ы

1. На примере трех, различных по физико-химическим свойствам, типов почв изучено поведение стронция-90, цезия-137 и церия-144 в системе почва-раствор в зависимости от уровня почвенного увлажнения, определяемого соотношением жидкой и твердой фаз в системе (коэффициент обводненности).

С изменением коэффициента обводненности почв от 0,1 до 20 концентрация стронция-90 в растворе закономерно снижается, а коэффициенты распределения, соответственно, возрастают. Распределение цезия-137 и церия-144 в системе почва-раствор подчиняется более сложной зависимости. Концентрация этих радиоизотопов в растворе имеет максимальную величину, а коэффициенты распределения достигают минимальных значений при переходе от влажных почв к почвенным суспензиям (коэффициенты обводненности 1-2). При самых крайних режимах почвенного увлажнения коэффициенты распределения цезия и церия характеризуются примерно одинаковыми величинами.

2. Установлено, что коэффициенты распределения однозначно характеризуют относительную подвижность радиоизотопов в системе почва-раствор только при условии одинаковой почвенной влажности. При разных режимах увлажнения почвы миграционную способность радионуклидов целесообразно оценивать величиной той части общего содержания их в почве, которая переходит в

Таблица 4  
 Величина отношений  $Sr^{90}/Ca$  и  $Cs^{137}/K$  в надземной массе растений в зависимости  
 от влажности почвы,  $10^{-6}$  кюри/г

Название растений	Влажность почвы, %		Дерново-луговая		Дерново-полюстная		Торфяного-глеевая	
	от полной влаги	от сухой	$Sr^{90}/Ca$	$Cs^{137}/K$	$Sr^{90}/Ca$	$Cs^{137}/K$	$Sr^{90}/Ca$	$Cs^{137}/K$
Овсяница луговая	25	29	189	9,4	73	5,7		
	50	31	189	9,8	78	4,9		
	80	26	220	13,2	125	10,1		
Овсяница тростниково-луговая	25	31	251	16,1	54	14,8		
	50	26	159	14,0	64	10,6		
	80	36	149	15,2	130	10,0		
Овсяница красная	25	31	387	-	71	3,5		
	50	25	370	8,8	78	10,4		
	80	36	452	10,8	132	11,4		
Костер овсяный	25	30	176	17,6	53	25,2		
	50	42	196	16,4	98	20,2		
	80	34	239	18,4	123	23,8		
Клевер луговой	25	24	158	19,6	82	7,5		
	50	22	110	19,6	84	9,2		
	80	22	124	21,7	80	27,1		

почвенный раствор. В конечном счете именно эта часть излучающей наиболее активно мигрирует из первично загрязненного слоя почвы и поглощается корневыми системами растений.

Содержание в растворе всех трех радиоизотопов возрастает с увеличением почвенного увлажнения. В пределах коэффициентов обводненности почв от 0,1 до 20 суммарное количество стронция-90 в растворе возрастает в 4-20 раз, а цезия-137 и церия-144 - на два порядка величины.

3. Во влажных почвах (коэффициент обводненности  $< 1$ ) относительная подвижность радиоизотопов в системе почва-раствор изменяется в ряду:  $^{90}\text{Sr} \gg \text{Cs } ^{137} > \text{Ce } ^{144}$ . В почвенных суспензиях (коэффициент обводненности  $> 1$ ) подвижность радионуклидов более или менее выравнивается, а цезий в отдельных случаях оказывается даже мобильнее стронция. Анализ полученных данных дает основание предполагать, что в природных условиях под влиянием временного переувлажнения происходит нивелирование темпов вертикальной миграции радионуклидов в почвах.

4. С повышением увлажнения исследованных почв от уровня влажности завядания до полной влагоемкости отмечено увеличение общего выноса стронция-90, цезия-137 и церия-144 надземной массой растений. Показано, что такое увеличение выноса радиоизотопов в основном определяется возрастанием биомассы растений на более увлажненной почве.

Величина коэффициентов накопления радиоизотопов в надземной массе растений не зависит от влажности дерново-луговой и дерново-подзолистой почв. С уменьшением степени увлажнения торфянисто-глеевой почвы наблюдается некоторое снижение коэффициентов накопления.

5. Тип почвы и степень ее увлажнения не влияют на характер распределения радионуклидов в растениях. Стронций во всех вариантах опытов преимущественно (82-94%) накапливается в надземной массе растений, церий - в подземных органах (76-90%), а цезий распределяется более или менее равномерно между надземными и подземными частями растений.

6. Доступность радиоизотопов растениям из почв изменяется в ряду:  $^{90}\text{Sr} > \text{Cs } ^{137} > \text{Ce } ^{144}$ . Коэффициенты накопления каждого радиоизотопа значительно варьируют у разных видов расте -

ний. Среди изученных видов растений клевер луговой, как правило, обладает самой высокой концентрирующей способностью в отношении исследованных радиоизотопов.

Стронций-90, цезий-137 и церий-144 наиболее интенсивно поступают в растения из дерново-подзолистой почвы, в которой все изучавшиеся радиоизотопы закрепляются с меньшей прочностью, чем в двух других почвах.

7. Поступление в растения стронция-90 и цезия-137 относительно их химических макроэлементов кальция и калия в основном определяется физико-химическими свойствами изучавшихся типов почв. Величина отношений  $Sr^{90}/Ca$  и  $Cs^{137}/K$  в наземной массе растений не зависит от влажности дерново-луговой и дерново-подзолистой почв. Под влиянием недостаточного увлажнения торфянисто-глеевой почвы величина этих отношений, как правило, снижается.

8. В целом результаты лабораторных опытов (в системе почва-раствор) достаточно хорошо согласуются с результатами вегетационных опытов (в системе почва-растение). Это дает основание считать, что поступление радиоизотопов из почвы в растения в значительной степени определяется их подвижностью в системе почва-раствор. Полученные в работе экспериментальные данные в известной мере могут быть использованы и при прогнозировании поведения изучавшихся радиоизотопов в почвенно-растительном покрове естественных биогеоценозов.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. О распределении серы-35 по основным группам химических соединений в растениях гороха и сосны в зависимости от уровня увлажнения почвы. Труды Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР, 1968, вып. 61.

2. Влияние влажности почвы на поведение стронция-90, кобальта-60 и серы-35 в системе почва-растение. Там же (в соавт. с Б.А.Мироновым).

3. Накопление стронция-90, цезия-137 и церия-144 растениями в зависимости от влажности почвы. Радиобиология, 1970, 10, вып. 3, № 1511-70 Деп. (в соавт. с Н.Б.Куликовым и И.В.Молчановой).

4. Зависимость миграции стронция-90, цезия-137 и церия-144 в системе почва-растение от влажности почвы и содержания радионуклидов в подвижной форме. Материалы симпозиума. "Исследование форм соединений радионуклидов и механизмы их миграции в почвах и растениях". Тбилиси, 1970.

5. Влияние влажности почвы на подвижность радионуклидов стронция, цезия и церия в системах почва-раствор и почва-растение. Тезисы докладов. IV Всесоюзный делегатский съезд почвоведов. Книга вторая, часть I, № 299, 1970 (в соавт. с Н.В.Куликовым и И.В.Молчановой).

6. Распределение радионуклидов в системе почва-почвенный раствор-растение в зависимости от влажности почвы. Экология, 1971, № 1 (в соавт. с И.В.Молчановой).

7. О поступлении химических элементов-аналогов ( $Sr^{90}$ -Са и  $Cs^{137}$ -К) в растения в зависимости от влажности почвы. Экология, 1971, № 5 (в соавт. с И.В.Молчановой).

8. Накопление стронция-90, цезия-137 и церия-144 девятью видами дикорастущих растений в зависимости от влажности почвы. Информационный бюллетень "Радиобиология", 1971, № 13.

9. Влияние влажности почвы на поступление стронция-90 в растения. Экология, 1972, № 3 (в соавт. с И.В.Молчановой и Н.В.Куликовым).

Материалы диссертации доложены на следующих научных совещаниях:

1. Симпозиум по миграции радиоактивных элементов в наземных биогеоценозах (Москва, 1968).

2. Симпозиум "Исследование форм соединений радионуклидов и механизмы их миграции в почвах и растениях" (Тбилиси, 1970).

3. IV Всесоюзный делегатский съезд почвоведов (Алма-Ата, 1971).

НС 16002 4/1-73 г.

ФОРМАТ 80x84 1/16

ТИРАЖ 150

ОБЪЕМ 1,4 ПЕЧ.Л.

ЗАКАЗ 22

---

ЦЕХ № 4 ОБЪЕДИНЕНИЯ "ПОЛИГРАФИСТ",  
СВЕРДЛОВСК, УНИВЕРСИТЕТСКАЯ ПЛ., 9