

УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи

И.В.МОЛЧАНОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
РАДИОИЗОТОПОВ ЖЕЛЕЗА, ИТТРИЯ И ЦЕРИЯ В СИСТЕМЕ
ПОЧВА-РАСТВОР-РАСТЕНИЕ

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических
наук

Научный руководитель –
доктор биологических наук
Н.В.Тимофеев-Ресовский

Свердловск
1968

УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи

И.В.Молчанова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
РАДИОИЗОТОПОВ ЖЕЛЕЗА, ИТТРИЯ И ЦЕРИЯ В СИСТЕМЕ
ПОЧВА-РАСТВОР-РАСТЕНИЕ

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических
наук

Научный руководитель -
доктор биологических наук
Н.В.Тимофеев-Ресовский

Свердловск, 1968

Защита диссертации состоится

В Объединенном ученом Совете при Институте экологии растений и животных УФАИ СССР. Отзывы направлять по адресу: г. Свердловск, 8, ул.8 Марта, 202, учёному секретарю Объединенного ученого Совета кандидату биологических наук Г.С.Хреновой.

В В Е Д Е Н И Е

В трудах В.В.Докучаева, В.И.Вернадского, Л.С.Берга, В.Н.Сукачева, Б.Б.Полынова был разработан комплексный подход к изучению процессов, протекающих в биосфере. Использование этого подхода при исследовании природных явлений обусловило формирование ряда научных дисциплин, способствующих познанию процессов, протекающих на нашей планете в настоящее время. Одной из таких дисциплин является радиационная биогеоценология. Основная задача радиационной биогеоценологии состоит в изучении геохимической судьбы радиоактивных элементов в биосфере, путей и темпов их миграции, а также факторов, влияющих на миграцию радиоактивных веществ в различных биогеоценологических звеньях.

Радиоактивные изотопы, попадая на земную поверхность, в первую очередь загрязняют водоемы, почвы и их растительный покров, откуда включаются в пищевые цепи и попадают в организм человека. Для предупреждения опасности, которую представляют такие загрязнения, необходимо знание закономерностей поведения радиоизотопов в первичных биогеоценологических звеньях: почва-раствор, раствор-растение, почва-растение. Широкие возможности применения в этих исследованиях метода меченых атомов значительно облегчают задачу изучения поведения радиоизотопов в системах различной сложности.

В простой системе число механизмов, определяющих поведение химических элементов меньше, они в ней резче проявляются и более доступны для изучения. По мере усложнения системы в ней начинают работать все новые механизмы и их совместное воздействие часто трудно доступно для расчленения. Включение новых механизмов, и их взаимное влияние может иногда перекрывать действие механизмов, работающих в простой системе. В таком случае проявится несоответствие между поведением элементов в простой и сложной системах. Соответствие же в поведении элемента в простой и сложной системах может свидетельствовать о решающей роли механизмов и факторов, выявленных при анализе простой системы.

Поведение радиоактивных изотопов в почвах, их подвижность и доступность растениям зависят от совокупного действия различных факторов, к которым следует отнести условия внешней

среды, тип почв и физико-химические свойства самих элементов. Экспериментальное изучение значения этих факторов, их оценка и экстраполяция результатов на реальные природные объекты: почвы, биогеоценозы, ландшафты — является одним из путей успешного решения основной задачи радиационной биогеоценологии.

В этом плане представляло интерес изучение поведения группы радиоизотопов: железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системах различной сложности (почва-раствор, раствор-растения, почва-раствор-растения, природный биогеоценоз). Эти радиоизотопы, наряду с долгоживущими радиоизотопами стронцием-90 и цезием-137, представляют определенную опасность для окружающей живой природы. Кроме того, иттрий и церий являются представителями редкоземельных элементов, геохимия которых еще недостаточно изучена. Поэтому выяснение закономерностей их миграции необходимо также с теоретической точки зрения. Изучение поведения железа, параллельно с изучением поведения иттрия и церия, важно в связи с тем, что железо для микроколичеств редкоземельных элементов является неизотопным носителем. Присутствуя в природных водах и почвенных растворах в концентрациях значительно превышающих концентрации иттрия и церия и имея с ними некоторые общие химические свойства, железо может существенным образом влиять на их миграционную способность и поведение в почвах.

Судьба железа в почвах привлекает внимание исследователей и по ряду других причин. Железо широко распространено в биосфере, а большая подвижность некоторых его соединений определяет типоморфность этого элемента в ряде геохимических ландшафтов. Хорошо известна роль железа в формировании профилей подзолистых, болотных, луговых, материтных и других типов почв. Широкое распространение железа, его большая миграционная способность и наличие участков с высокой концентрацией не исключают возможности миграции железа в природных водах и почвенных растворах в микроколичествах. Следовательно, в экспериментальных исследованиях по изучению закономерностей миграции железа в почвах необходимо работать с концентрациями близкими к природным. Эта задача также облегчается использованием метода меченых атомов.

К настоящему времени с различной степенью детализованности созданы основные представления о почвенной химии железа, иттрия и церия, описаны особенности их поведения в основных типах почв и почвенно-геохимических ландшафтах. Вместе с тем очень слабо изученным остается вопрос о поведении данных элементов в основных биогеоценотических звеньях: почва-раствор и почва-раствор-растение.

В связи с этим целью настоящей работы явилось сравнительное изучение поведения микроколичеств железа, иттрия и церия в системах различной сложности: почва-раствор, раствор-растение, почва-растение, природный биогеоценоз. При этом особое внимание было уделено изучению факторов, определяющих подвижность данных элементов в системе почва-раствор.

Диссертационная работа состоит из следующих основных разделов: I. Введение, II. Материал и методика, III. Результаты опытов и их обсуждение, IV. Заключение, V. Выводы, VI. Литература.

Объем диссертации 124 страницы с 25 рисунками и 28 таблицами. Список литературы включает 161 работу (отечественных и иностранных). Ниже изложено основное содержание диссертации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом во всех типах опытов явились радиоактивные изотопы: железо-59, иттрий-91 и церий-144. Все изотопы имели квалификацию "РХЧ"; радиоактивность растворов, применявшихся в опытах, составляла около 10 микрокюри/л. Опыты по изучению поведения железа, иттрия и церия в системе почва-раствор были проведены на следующих почвах: дерново-луговой, горизонт A_1 (Курск, Центрально-черноземный заповедник), дерново-подзолистой почве, горизонты A_1 , A_2 , B_1 (Московская обл.) и красноземе, горизонт A_1 (Грузия, Зугдиди). В вегетационных опытах были использованы растения гороха и ячменя, а в полевых - естественные фитоценозы на опытных площадках (Южный Урал).

Изучение сорбции железа, иттрия и церия почвами и их десорбции из почв проводилось в динамических и статических

условиях опытов. Для проведения опытов в динамических условиях стеклянные колонки объемом 20 см³ заполняли почвой. В подготовленные таким образом колонки подавали растворы соответствующих радиоизотопов. Скорость фильтрации составляла 0,5 мм/мин. Количество фильтрата, прошедшего через колонку, измеряли в объемах почвенного фильтра. По разности радиоактивности в исходном растворе и фильтрате устанавливали сорбцию радиоизотопов почвой. По окончании опыта почвенный фильтр делили на 5 слоев, из почвы каждого слоя отбирали средние пробы для измерения радиоактивности, по которой судили о распределении радиоизотопов в почвенной колонке.

Для проведения опытов в статических условиях навески почвы 1 г и 20 мл раствора соответствующего радиоизотопа помещали в пробирки из органического стекла и перемешивали на вращающейся мешалке в течение 2х часов. Как показали предварительные опыты этого времени было достаточно для установления равновесия в изучаемой системе. После перемешивания раствор отделяли от почвы центрифугированием. Количество радиоизотопа, поглощенного почвой, определяли по разности радиоактивности исходного раствора и центрифугата. В опытах по десорбции отцентрифугированную навеску почвы промывали дистиллированной водой, заливали десорбирующим раствором и вновь перемешивали 2 часа, после чего из отцентрифугированного десорбента отбирали пробы для измерения радиоактивности.

Методика приготовления рабочих растворов радиоизотопов была следующей. При изучении влияния pH на поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе почва-раствор, в дистиллированную воду (pH которой доводили предварительно до значения 2-3) вносили соответствующие радиоизотопы, а затем pH доводили до необходимого значения с помощью NaOH и H₂O₂. В опытах по выяснению влияния концентрации железа, иттрия и церия на характер поглощения их почвами вначале готовили растворы нужной концентрации из соли стабильного элемента, затем в раствор добавляли необходимое количество радиоизотопа, после чего растворы дважды выпаривали с кислотой

для перевода стабильного элемента и его радиоактивного изотопа в одну химическую форму. В опытах с растительными экстрактами, экстракты готовили путем 10-дневного настаивания 100 г сухих желтых листьев некоторых древесных пород и хвои сосны в 5 литрах озерной воды.

Опыты с растениями гороха и ячменя в условиях водных культур проводили в вегетационных сосудах емкостью 0,5 литра, которые заполняли питательной смесью Кнопа. Концентрация железа, иттрия и церия в растворах равнялась 10^{-6} М, радиоактивность — 10 микрокури/л. Опыт продолжался 30 дней, после чего растения делили на корни, листья, стебли, высушивали до постоянного веса и озоляли. Пробы золы использовали для измерения радиоактивности.

Опыты с почвенными культурами проводили на дерново-луговой почве (гор. А₁) и дерново-подзолистой почве (гор. А₂). Радиоизотопы вносили в почву путем полива, причем в дерново-луговую почву, в 2-х химических формах: в виде простых солей и комплексов с ЭДТА. После полива почву тщательно перемешивали и помещали в вегетационные сосуды. Радиоактивность почвы составляла около 10 микрокури/кг, а концентрация вносимых в почву элементов — 10^{-6} м/кг. По окончании опыта (через 30 дней) почву вместе с растениями вынимали из сосудов, тщательно отделяли корни от почвы и затем отмывали их от остатков почвы водой. Растения обрабатывали способом описанным выше. Вегетационные опыты проведены в трех повторностях. Повторностью являлись растения одного сосуда, из которых для измерения радиоактивности готовили по 3 параллельных пробы.

Для изучения поведения железа-59, иттрия-91 и церия-144 в естественных биогеоценозах были заложены опытные площадки (1 м x 1 м) в сосновом и березово-осиновом лесу. На площадки изучаемые радиоизотопы вносили путем полива в количестве около 5 микрокури в 15 литрах воды. Опытные площадки с железом и иттрием были разобраны в конце первого вегетационного сезона, а с церием — в конце второго. При разборке количественно учитывали надземную и корневую биомассу растений, вес почвы в разных слоях до глубины 20–25 см и вес лесной подстилки. Радиоактивность растений и подстилки определяли после

оволения, а почвы после высушивания до воздушно-сухого состояния.

Во всех типах опытов радиометрические измерения образцов почв, золы растений и водных растворов проводили на радиометре типа Б-2 со счетчиком Т-25-БФД. Пробы растворов перед измерением выпаривали досуха под сушильной лампой. Время измерения образцов выбиралось такое, чтобы ошибка счета не превышала 3-5% ; везде, где было необходимо, вводили поправки на радиоактивный распад и самопоглощение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальный раздел работы включает три главы:

А. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе почва-раствор (лабораторные опыты). Б. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системах раствор-растение и почва-растение (вегетационные опыты). В. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в естественных биогеоценозах (полевые опыты). Полученные результаты будут описаны по этим главам.

А. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе почва-раствор (лабораторные опыты)

Для характеристики подвижности микроколичеств железа, иттрия и церия в системе почва-раствор было изучено влияние некоторых факторов, определяющих миграционную способность этих элементов. Такими факторами являлись: рН среды, концентрация исследуемых элементов в растворе, присутствие в растворе коллоидов железа и воднорастворимого органического вещества, а также физико-химические свойства почв.

Проведенные опыты показали, что изменение щелочно-кислотных условий среды в интервале рН от 3 до 10 практически не влияет на сорбцию иттрия-91 почвами, сорбция железа-59 резко снижается при переходе рН от 4 к 5, а церия-144 - при рН равном 10 (таблица I).

В условиях данных опытов при этих значениях рН осуществляется переход железа и церия из ионной формы в коллоид-

Таблица I

Сорбция железа-59, иттрия-91 и церия-144 почвами в зависимости от pH раствора (в процентах от содержания радиоизотопов в исходном растворе)

Радио-изотоп	pH раствора							
	3	4	5	6	7	8	9	10
Процент сорбции (средний для 6 изученных почв)								
Железо-59	92±2	92±2	15±4	20±2	22±2	30±5	26±4	32±3
Иттрий-91	95±2	94±3	96±1	91±1	90±3	94±3	94±3	93±2
Церий-144	95±3	94±2	93±2	92±2	94±3	90±3	90±3	74±2

ную, которая сорбируется почвами хуже, чем ионная форма. Иттрий также является гидролизующимся элементом и, исходя из произведения растворимости его гидроокиси, можно ожидать образование коллоидов при pH=8. Однако, смена физико-химического состояния иттрия в растворе не сопровождается изменением процента его сорбции; по-видимому, коллоидные формы иттрия не отличаются по способности поглощаться почвами от катионов.

Присутствие в растворе коллоидной гидроокиси стабильного железа снижает сорбцию иттрия-91 почвами в области слабощелочных и нейтральных значений pH, а сорбцию церия-144 в нейтральных и слабощелочных. Это снижение проявляется тем резче, чем выше концентрация железа в растворе и объясняется соосаждением иттрия и церия с подвижными коллоидами железа.

Большое влияние на сорбцию железа и церия почвами оказывает их концентрация в растворе (таблица 2).

Наиболее полное поглощение этих элементов во всем диапазоне pH происходит при концентрации 10^{-4} М. Снижение концентрации до 10^{-5} – 10^{-6} М приводит к резкому падению процента сорбции железа при переходе pH от 4 к 5, а церия – в области pH 7–10. Снижение сорбции церия при дальнейшем уменьшении концентрации его в растворе проявляется менее четко. Такой характер сорбции

Таблица 2

Сорбция железа и церия дерново-луговой почвой в зависимости от их концентрации в растворе и pH раствора (в процентах от содержания железа и церия в исходном растворе)

Элемент	Концентрация в М	pH раствора							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Железо	10^{-4}	95	60	63	63	65	64	62	65
	10^{-5}	82	40	18	22	21	20	18	23
	10^{-6}	94	95	44	24	34	42	37	25
Церий	10^{-4}	98	97	97	98	98	98	98	98
	10^{-5}	94	95	95	95	95	50	48	43
	10^{-6}	90	92	93	91	72	58	56	56
	10^{-7}	96	96	96	92	80	62	62	63
	10^{-8}	93	93	92	94	95	92	91	80

железа и церия почвой является отражением тех сложных процессов смены физико-химического состояния элементов в растворе и изменения степени дисперсности коллоидов, которое наблюдается при изменении концентрации и pH среды. Сорбция иттрия почвами не зависит от его концентрации и осуществляется практически полностью во всем диапазоне значений pH. Тип почв не оказывает существенного влияния на поглощение железа, иттрия и церия, в результате чего ход кривых сорбции почти на всех изученных почвах сохраняется приблизительно одинаковым.

Для характеристики прочности закрепления в почвах железа, иттрия и церия в зависимости от концентрации сорбированных элементов были проведены опыты по их десорбции солями натрия и алюминия. Опыты показали, что процент десорбции в широкой области концентраций остается постоянным для каждого элемента.

Результаты опытов по десорбции железа-59, иттрия-91 и церия-144 из почв разными катионами (K, Na, Ca, Zn, Cu, Fe, Al)

показали, что для каждого радиоизотопа существует "специфический вытеснитель", т.е. такой катион, который вытесняет определенный радиоизотоп в большей степени, чем другие катионы. Таким "специфическим вытеснителем" для железа-59 является алюминий, для иттрия-91 - медь, для церия-144 - железо. Наличие "специфических вытеснителей" указывает на селективность процесса поглощения данных радиоизотопов почвами. При десорбции иттрия-91 и церия-144 из минерального остатка почв "специфические вытеснители" отсутствуют, а ряд, в который располагаются катионы по своему десорбирующему действию $Na < K < Ca < Zn < Cu < Al < Fe$, за исключением Cu и Zn , соответствует вытесняющей способности катионов, наблюдаемой при ионообменных реакциях. Это дает основание предполагать, что иттрий и церий минеральной части почв поглощаются по типу реакций ионного обмена. При взаимодействии с нативными почвами эти элементы вступают в специфические соединения с органическим веществом, из которых их может вытеснить только определенный катион. Низкая способность всех десорбирующих катионов, за исключением алюминия, вытеснить железо из минеральной части почв и отсутствие зависимости в десорбирующем действии катионов от их атомного веса и валентности указывают на возможное участие железа в другом типе реакций. Ими могут являться, например, кристаллохимические реакции железа с глинистыми минералами почвы.

Изучение сорбции железа-59, иттрия-91 и церия-144 разными почвами и десорбции из них этих радиоизотопов показало, что свойства почв практически не влияют на величину сорбции, но в значительной степени определяют прочность закрепления радиоизотопов. Независимость процента сорбции от свойств почв обусловлена, по-видимому, тем, что во всех случаях емкость поглощения почв превышала те количества сорбционно-способных форм элементов, которые присутствовали в растворе. По прочности фиксации всех трех радиоизотопов в почвах, последние можно расположить в следующий ряд: дерново-луговая > чернозем > краснозем > дерново-подзолистая почва, горизонты $B_1 > A_1 > A_2$. Прочность закрепления радиоизотопов увеличивается в ряду: железо-59 > иттрий-91 > церий-144.

Экстракты из листьев древесных пород значительно увеличивают подвижность железа, иттрия и церия в системе почва-раствор. Сравнение десорбирующего действия экстрактов с десорбирующим действием 0,01M раствора искусственного комплексона M_6 ЭДТА и воды показывает, что некоторые экстракты удерживают в растворе в 30 раз больше этих элементов, чем вода. Соответствующие данные, усредненные для всех изученных почв, приведены в таблице 3.

Десорбирующее действие экстрактов по отношению к определенному элементу определяется прочностью его связи с почвой и особенностями самих почв. Железо-59 во всех изученных почвах закрепляется прочнее, и по отношению к нему эффективность экстрактов ниже. Для всех трех радионуклидов десорбирующее действие экстрактов меньше на дерново-луговой почве и черноземе по сравнению с остальными почвами. Поскольку десорбирующее действие экстрактов увеличивается с увеличением содержания в них органического вещества, то предполагается, что оно обусловлено реакциями, в результате которых образуются плохо сорбируемые почвой соединения. Ими могут являться растворимые комплексные соединения, характеризующиеся большой подвижностью в почвах. Так как для экстрактов из хвои сосны было характерно наиболее низкое содержание органического вещества, они в большинстве случаев вызвали наименьший десорбиционный эффект.

Анализ всего материала по изучению поведения железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе почва-раствор позволяет в общих чертах характеризовать их поглощение почвами как селективный процесс, определяемый состоянием элементов в исследуемой системе и свойствами самой системы.

Б. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе раствор-растение и почва-растение (вещационные опыты)

Изучение поведения железа-59, иттрия-91 и церия-144 в системе почва-раствор показало, что эти радионуклиды по-разному реагируют на изменение некоторых факторов миграции и характеризуются разной подвижностью и прочностью закрепления в почвах. Интересно было проследить, сохраняются ли особенности

Таблица 3

Сорбция железа-59, иттрия-91 и церия-144 из растительных экстрактов, озерной воды и 0,01 М раствора Na ЭДТА (радиоактивность растворов после взаимодействия их с почвой в процентах от исходной)

Радио-изотоп	0,01 М раствор Na ЭДТА	Озерная вода	Экстрактны из листьев				
			осины	черемухи	березы	липы	хвой сосны
железо-59	40,8 ± 5,2	4,6 ± 0,6	18,3 ± 1,5	23,3 ± 3,4	20,6 ± 2,0	17,0 ± 2,1	10,0 ± 0,7
Иттрий-91	100,0 ± 0,0	4,0 ± 0,5	62,7 ± 6,9	42,3 ± 4,4	50,5 ± 3,6	39,2 ± 4,6	36,5 ± 4,5
Церий-144	100,0 ± 0,0	2,4 ± 0,9	59,6 ± 4,8	51,1 ± 2,5	29,6 ± 3,6	37,3 ± 2,9	13,1 ± 3,1

поведения радиоизотопов, выявленные при исследовании системы почва-раствор, в более сложной системе – почва-раствор-растение.

Опыты, проведенные с горохом и ячменем, показали, что в условиях водных культур наиболее интенсивно поступает в растения железо-59, а самые низкие коэффициенты накопления (5-14) отмечены для церия-144. Иттрий-91 и церий-144 в основном концентрируются в корнях, составляя в них 80-95% от содержания во всем растении, хотя вес корней составляет 20-30% от общего веса растений, а железо-59 более или менее равномерно распределяется по основным частям и органам растений.

Коэффициенты накопления изучаемых радиоизотопов при поступлении их в растения из почв характеризуются относительно низкими величинами (в большинстве случаев они меньше единицы), а по абсолютному значению убывает в ряду: железо-59 > иттрий-91 > церий-144. Из дерново-луговой почвы, в которой иттрий-91 и церий-144 закрепляются прочнее, чем в дерново-подзолистой, они в значительно больших количествах поступают в растения. В то же время железо-59, хотя и с различной прочностью закрепляется в этих двух почвах, поглощается растениями приблизительно одинаково. Имеющиеся различия в поступлении в растения железа-59, иттрия-91 и церия-144 из почв могут быть обусловлены тем, что механизм, по которому фиксируется железо в почвах, отличен от механизма фиксации иттрия и церия.

Результаты опытов по изучению влияния ЭДТА на поведение железа, иттрия и церия в системе почва-растение сводятся к следующему. В присутствии этого комплексона в почве содержание железа-59 и иттрия-91 в растениях, их вынос надземной биомассой на дневную поверхность и коэффициенты накопления резко увеличиваются. На подвижность церия-144 в системе почва-растение ЭДТА не влияет, т.к. в условиях наших опытов комплекс CeЭДТА, поступающий в почву, разрушается. Комплексные соединения железа и иттрия с ЭДТА интенсивно передвигаются по растению и накапливаются преимущественно в надземной биомассе.

Итак, железо-59, при прочих равных условиях, интенсивнее накапливается и равномернее распределяется в растениях по сравнению с иттрием-91 и церием-144, что указывает на большую

подвижность его как в системе раствор-растение, так и в системе почва-растение.

**В. Поведение железа-59, иттрия-91 и церия-144
в естественных биогеоценозах (полевые опыты)**

В лабораторных и вегетационных опытах были изучены некоторые факторы миграции микроколичеств железа-59, иттрия-91 и церия-144 и дана сравнительная характеристика подвижности этих радиоизотопов в системах почва-раствор, раствор-растение и почва-растение. Чтобы сравнить поведение радиоизотопов в модельных системах с их поведением в природных условиях, были проведены специальные опыты в естественных биогеоценозах. Данные этих опытов показывают, что основное количество радиоизотопов, через 4-11 месяцев после внесения их в лесную подстилку, сосредотачивается в почве и месте внесения. Содержание их в наземной биомассе фитоценоза измеряется десятками и сотыми долями процента, а в корнях единицами процентов от общего содержания радиоизотопов во всем биогеоценозе. При этом железо-59, по сравнению с иттрием-91 и церием-144 в большей степени накапливается в корнях и наземной биомассе фитоценоза, что находится в соответствии с данными вегетационных опытов. Наименее подвижным элементом в почве является иттрий-91. Он на 80% (считая от содержания иттрия в почве) задерживается в верхнем 0-5 см слое почвы. Церий-144 характеризуется более равномерным распределением по профилю почвы; наиболее миграционноспособным в условиях опыта оказалось железо-59. К концу опыта в верхнем слое почвы его содержалось 50%, остальное количество промигрировало в нижележащие слои до глубины 25 см. Эти результаты также соответствуют данным лабораторных опытов, в которых было показано, что железо-59, при pH 7-8 равномерно распределяется по слоям почвенного фильтра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные выше экспериментальные данные, вскрывая взаимосвязь между химической индивидуальностью элемента и его

подвижностью, показывают, что определенные изменения в среде вызывают характерные для каждого элемента изменения подвижности и прочности закрепления в почвах. Факторами, определяющими поведение всех трех радиоизотопов в почвах являются состав почвы, присутствие в растворе органических веществ и посторонних катионов. Щелочно-кислотные условия среды и концентрация элемента в значительной степени влияют на поглощение железа и церия почвами, но не сказываются на поглощении иттрия. Как для иттрия, так и для церия характерно увеличение их подвижности в присутствии коллоидов железа.

Различия в поведении изучаемых элементов, выявленные при анализе простой системы почва-раствор, проявляются в более сложной системе (почва-растение) и в природных условиях. Так, большей подвижности железа в системе почва-раствор соответствует большая его подвижность в условиях вегетационных и полевых опытов. Это соответствие проявляется в наиболее высоких (по сравнению с иттрием и церием) коэффициентах накопления железа подопытными растениями, равномерном распределении его по профилю почв и большем накоплении в надземной биомассе естественных фитоценозов. Для иттрия и церия соотношение сорбируемой и несорбируемой формы в системах почва-раствор сдвинуто в сторону преимущественного образования сорбируемой формы. Это обуславливает меньшую подвижность иттрия и церия в почвах, что тоже подтверждается данными лабораторных и полевых опытов. Эти элементы в меньших количествах поступают в растения, в незначительной степени накапливаются в надземной биомассе естественных фитоценозов и с меньшей скоростью, по сравнению с железом, мигрируют по профилю почв. Имеющиеся соответствия свидетельствуют о том, что факторы, определяющие поведение элементов в простой системе и поддающиеся в ней контролю, существенным образом влияют и на их поведение в более сложных системах и природных условиях.

У. В. В. О. Д. Ы

I. Поведение железа, иттрия и церия в системе почва-раствор зависит как от их физико-химических свойств, так и от свойств самой системы. Щелочно-кислотные условия среды и концентрация элемента в растворе в значительной степени определяют

поглощение железа и церия почвами и не влияют на поглощение иттрия. При наличии в растворе гидроокиси железа сорбция иттрия и церия почвами снижается в нейтральной и щелочной области pH, что объясняется образованием несорбирующихся коллоидов железа и соосаждением с ними иттрия и церия. Органическое вещество, экстрагируемое водой из листьев некоторых древесных пород, увеличивает подвижность изучаемых элементов. Свойства почв в большинстве случаев не влияют на величину сорбции железа, иттрия и церия, но определяют прочность их закрепления.

2. По степени накопления растениями из водных растворов и почв радиоизотопы располагаются в ряд: железо-59 > иттрий-91 > церий-144.

3. Накопление радиоизотопов растениями зависит от свойств почв. В дерново-подзолистой почве (горизонт A₂) прочность закрепления радиоизотопов меньше, чем в дерново-луговой почве, и они более доступны растениям.

4. Сравнение подвижности железа, иттрия и церия, внесенных в почву в форме простых солей и комплексных соединений с ЭДТА, показывает, что для комплексных соединений железа и иттрия характерна большая подвижность как в системе почва-растение, так и в самом растении. Подвижность церия в том и другом случаях одинакова, поскольку его комплекс с ЭДТА при поступлении в почву разрушается.

5. Железо-59, иттрий-91 и церий-144, внесенные в подстилку лесных биогеоценозов, распределяются по основным компонентам биогеоценозов так, что содержание их в наземной биомассе измеряется десятками и сотнями долями процента, а в корнях — единицами процентов от общего содержания во всем биогеоценозе. В лесной подстилке задерживается 20-25%, остальное количество радиоизотопов поступает в почву.

6. Железо-59, по сравнению с иттрием-91 и церием-144, характеризуется большей подвижностью в почвах. Присутствуя в растворе в микроконцентрациях, оно образует тонкодисперсные, плохосорбируемые почвой коллоиды. В результате этого железо в заметных количествах удерживается в растворе и срав-

нительно равномерно распределяется по профилю почв, проникая за один вегетационный период на глубину 20-25 см. Иттрий-91 и церий-144 сорбируются преимущественно верхним слоем почвы и их распределение по профилю почв характеризуется резким падением концентраций с глубиной.

7. Результаты лабораторных, вегетационных и полевых опытов хорошо согласуются друг с другом, Следовательно, факторы, определяющие поведение железа, иттрия и церия в простой системе почва-раствор, существенным образом влияют и на их поведение в более сложных системах и природных условиях.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Опыт экспериментального исследования распределения радиоизотопов в естественных биогеоценозах ДАН СССР, 1960, т.133. № 2 (совместно с Г.И.Махоиной, Е.Н.Субботиной, Н.В.Тимофеевым-Ресовским, А.А.Титляновой, А.Н.Турккановым).

2. Исследование поведения микроколичеств железа и цинка в почвах. Научн. докл. высшей школы, биол. науки, 1961, № 4 (совместно с Г.И.Махоиной).

3. О влиянии железа на поведение иттрия-91 в дерново-луговой почве. Научн. докл. высшей школы, биол. науки, 1965, № 2.

4. К вопросу о поведении микроколичеств иттрия и церия в почве. Радиохимия, 1965, т.УП, вып.6 (совместно с А.А.Титляновой).

5. О поведении иттрия-91 в некоторых типах почв. Труды Института биологии УФАН СССР, 1965, вып.45.

6. Распределение Fe -59, Co-60, Zn -65, Sr -90, Ru -106, Cs -137, Ce -144 по компонентам биогеоценоза. (Совместно с Г.И.Махоиной, Е.Н.Субботиной, Н.В.Тимофеевым-Ресовским, А.А.Титляновой, А.Н.Турккановым, М.Я.Чеботкиной).

7. Поведение радиоактивных изотопов в системе почва-раствор. В кн. "Радиоактивность почв и методы ее определения"

Изд-во "Наука", 1966 (Совместно с Н.В.Тимофеевым-Резовским, А.А.Титляновой, Н.А.Тимофеевой, Г.И.Махониной, М.Я.Чеботиной).

8. О поведении церия-144 в некоторых типах почв. Труды Института экологии растений и животных УФАИ СССР, 1968, вып.61.

9. Поступление микроколичеств радиоизотопов иттрия-91 и церия-144 в растения из растворов и почв. Там же.

НС 13022 29/1-68 г. Объем 1,25 печ.л.
Формат 60x84 1/16 Тираж 200 Заказ 252

Цех № 4 объединения "Полиграфист",
Свердловск, Университетская пл., 9