

Научно-исследовательская работа

Краеведение

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОЙ ХИМИИ
НЕКОТОРЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Выполнила:

Щербакова Анастасия Владимировна,
учащаяся 11 класса,
МБОУ «Пришненская средняя школа № 27»
Щекинского района Тульской области

Руководитель:

Ихер Татьяна Петровна,
учитель биологии и экологии,
руководитель НОУ «Поиск»
МБОУ «Пришненская средняя школа № 27»
Щекинского района Тульской области,
Почетный работник общего образования РФ,
советник Российской Академии Естествознания

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---------------------------------------------|------|
| Введение | 3 |
| 1. Источники радиоактивного облучения | 3 |
| 2. Естественные радионуклиды | 5 |
| 3. Легкие естественные радионуклиды | 7 |
| 4. Тяжелые естественные радионуклиды | 9 |
| 5. Искусственные радионуклиды | 12 |
| 6. Продукты ядерного деления | 12 |
| 7. Нуклиды с наведенной активностью | 16 |
| Заключение | 18 |
| Список использованной литературы | 19 |

Введение

Сельскохозяйственная радиэкология – это наука, изучающая закономерности миграции по биологическим цепочкам в агропромышленной сфере и действия ионизирующих излучений как одного из ведущих экологических факторов в современной биосфере на сельскохозяйственные растения и животных, а также агроценозы [1 - 3]. В прикладном плане эта наука разрабатывает способы изменения (как правило, ограничения) вовлечение радионуклидов в биологический круговорот, снижения содержания радиоактивных веществ в растениях и животных, а также в продукции растениеводства и животноводства и, в конечном счете, обосновывает систему ведения агропромышленного производства, обеспечивающую минимальное радиационное воздействие на человека, а в некоторых случаях и растения и животных. Сельскохозяйственная радиэкология обосновывает принципы функционирования АПК на территориях с повышенным содержанием радиоактивных веществ (в том числе на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению после радиационных аварий).

Цель данной реферативно-исследовательской работы – провести анализ естественных и искусственных радионуклидов, имеющих важное эколого-биологическое значение для здоровья среды и человека в современном мире.

1. Источники радиоактивного облучения

Важное значение исследований в области сельскохозяйственной радиэкологии стало особенно очевидным в период, когда началось активное освоение атомной энергии в различных отраслях народного хозяйства, в первую очередь, когда стала развиваться ядерная энергетика.



Как известно, следствием использования атомной энергии явились рассеяние искусственных радионуклидов в биосфере, в том числе и в сфере агропромышленного производства, и ускорение темпов передвижения естественных радионуклидов с последующим включением их в цепи миграции в системе «радиоактивные выпадения – почва – сельскохозяйственные растения – сельскохозяйственные животные».

Облучение человека от радионуклидов техногенного происхождения, поступивших в среду его обитания, складывается из четырех источников [3]:

- 1) внешнего облучения от осевших на земную поверхность (почвенно-растительный покров) радионуклидов;
- 2) ингаляции радионуклидов, находящихся в зоне дыхания человека;
- 3) погружения человека в облако, содержащее радиоактивные аэрозоли (если имеет место выброс радиоактивных веществ в атмосферу);
- 4) облучения от радионуклидов, поступивших в организм человека с продуктами питания и водой.



Как показывает анализ различных радиологических ситуаций [2 - 4; 7], последний из четырех источников облучения в большинстве случаев играет ведущую, а иногда и решающую роль в формировании лучевой нагрузки на человека. Доминирующее значение пищевого пути поступления радионуклидов как фактора дополнительного (сверхфонового) облучения человека среди всех других источников воздействия ионизирующих излучений на человека в условиях повышения радиационного фона Земли и предопределило исключительное внимание к проблемам сельскохозяйственной радиозащиты.

2. Естественные радионуклиды

С радиозэкологической точки зрения, все радионуклиды целесообразно разделить на *естественные* (присутствие которых на Земле не связано с деятельностью человека) и *искусственные*, или *техногенные*. Это деление условно, так как образующиеся в естественных (природных) условиях легкие радионуклиды могут быть получены и искусственным путем. Например, тритий, может образовываться как в естественной среде (в результате ядерной реакции химических элементов с космическим излучением), так и в реакциях с искусственно вызванным делением или синтезе: Другой важный искусственный радионуклид – ^{90}Sr может образовываться в окружающей среде при спонтанном делении ^{238}U . В связи этим искусственные радионуклиды иногда называют более точно нуклидами антропогенного (техногенного) происхождения.

В биосфере Земли содержится более 80 естественных радионуклидов, которые можно разделить на две категории: *первичные* и *космогенные* [3].

Первичные подразделены на две группы. Первая группа включает 43 радионуклида трех семейств (рядов) радиоактивных элементов с периодами полураспада от $3 \cdot 10^{-7}$ с (^{212}Po) до $1,4 \cdot 10^{10}$ лет (^{232}T). Радионуклиды этой группы называют также тяжелыми естественными радионуклидами. Следует отметить, что в природе существовало четвертое радиоактивное семейство - ряд ^{237}Np ($T_{1/2} = 1,214 \cdot 10^6$ лет), все члены которого в естественных условиях распались, в настоящее время они получены искусственным путем. Вторая группа первичных радионуклидов состоит из 24 долгоживущих (с периодом полураспада от $1,3 \cdot 10^9$ до $1,4 \cdot 10^{21}$ лет) радиоактивных изотопов таких химических элементов, как К, Са, Rb, Sn и др. (табл. 1) [3].

Таблица 1

Природные радионуклиды нерадиоактивных и радиоактивных химических элементов

| Радионуклиды | Содержание радионуклида в естественном элементе, % | $T_{1/2}$, годы | Тип распада | Радионуклиды | Содержание радионуклида в естественном элементе, % | $T_{1/2}$, годы | Тип распада |
|------------------|----------------------------------------------------|---------------------|-------------|-------------------|----------------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| ^{40}K | 0,118 | $1,28 \cdot 10^9$ | β^- | ^{138}La | 0,089 | $1,12 \cdot 10^{11}$ | э.з., β^- |
| ^{48}Ca | 0,185 | $1,1 \cdot 10^{18}$ | β^- | ^{138}Ce | 11,07 | $5 \cdot 10^{16}$ | α |
| ^{50}V | 0,24 | $6 \cdot 10^{15}$ | э.з.*. | ^{138}Nd | 23,87 | $2,4 \cdot 10^{15}$ | α |
| ^{87}Rb | 27,85 | $5 \cdot 10^{10}$ | β^- | ^{138}Nd | 5,60 | $> 10^{16}$ | |
| ^{96}Zr | 0,80 | $3,6 \cdot 10^{17}$ | β^- | ^{147}Sm | 15,07 | $1,05 \cdot 10^{11}$ | α |

| | | | | | | | |
|-------------------|-------|----------------------|----------------|-------------------|--------|----------------------|----------------------|
| ¹¹³ Cd | 12,26 | 1,3·10 ¹⁵ | β ⁻ | ¹⁷⁶ Lu | 2,60 | 3·10 ¹⁰ | β ⁻ |
| ¹¹³ In | 4,23 | стабильн. | | ¹⁸⁰ Ta | 0,0123 | > 10 ¹⁶ | э.з., β ⁻ |
| ¹¹⁵ In | 95,77 | 6·10 ¹⁴ | β ⁻ | ¹⁸⁰ W | 0,135 | 1,1·10 ¹⁵ | α |
| ¹²⁴ Sn | 5,98 | 2·10 ¹⁷ | - | ¹⁸⁷ Re | 62,93 | 4·10 ¹⁰ | β ⁻ |
| ¹²³ Sb | 42,75 | 1,3·10 ¹⁶ | - | ¹⁹⁰ Pt | 0,0127 | 6·10 ¹¹ | α |
| ¹²³ Te | 0,87 | 1,2·10 ¹³ | э.з. | ¹⁹² Pt | 0,78 | =10 ¹⁵ | α |
| ¹³⁰ Te | 34,49 | 8·10 ²⁰ | β ⁻ | ²⁰⁹ Bi | 100 | 2·10 ¹⁸ | α |

*э.з. – электронный захват

Естественные радионуклиды целесообразно разделить на легкие и тяжелые. В группу тяжелых естественных радионуклидов специально выделены ввиду их большой радиотоксической значимости нуклиды радиоактивных семейств – ²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th. Все остальные естественные радионуклиды отнесены к легким [1]. Космогенные радионуклиды образуются в основном в атмосфере в результате взаимодействия космического излучения (нейтронов, протонов и др.) с ядрами атомов O, N, Ar, а затем поступают на земную поверхность атмосферными осадками. Эта группа представлена 20 радионуклидами (табл. 2) с периодами полураспада от 37,3 мин. (³⁸Cl) до 7,4·10⁵ лет (²⁶Al).

Таблица 2

Характеристика естественных радионуклидов, индуцированных космическим излучением

| Радионуклиды | Скорость образования, ат. / (см ² с) | Период полураспада | E _β , кэВ |
|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| ³ H | 0,20 | 12,34 года | 18,6 |
| ³ He | 8,1·10 ⁻² | 53 сут. | э.з. |
| ¹⁰ Be | 4,5·10 ⁻² | 2,5·10 ⁵ лет | 555 |
| ³ C | 2,5 | 5730 лет | 156 |
| ²² Na | 8,6·10 ⁻⁵ | 2,6 года | 545 (β ⁺) |
| ²⁴ Na | 3,0·10 ⁻⁵ | 15 час | 1389 |
| ²⁸ Mg | 1,7·10 ⁻⁴ | 21,2 час | 460 |
| ²⁶ Al | 1,4·10 ⁻² | 7,4·10 ⁵ лет | 1170 (β ⁺) |
| ³¹ Si | 4,4·10 ⁻⁴ | 2,6 час | 1480 |
| ³² Si | 1,6·10 ⁻⁴ | 700 лет | 210 |
| ³² P | 8,1·10 ⁻⁴ | 14,3 сут. | 1710 |
| ³³ P | 6,8·10 ⁻⁴ | 25 сут. | 248 |
| ³⁵ S | 1,4·10 ⁻³ | 87 сут. | 167 |
| ³⁸ S | 4,9·10 ⁻⁵ | 2,78 час | 3000 |
| ^{34m} Cl | 2,0·10 ⁻⁴ | 32 мин | 2480 (β ⁺) |
| ³⁴ Cl | 1,1·10 ⁻³ | 3,1·10 ⁵ лет | 714 |
| ³⁸ Cl | 2,0·10 ⁻³ | 37,3 мин. | 4910 |
| ³⁹ Cl | 1,4·10 ⁻³ | 55,5 мин. | 3450 |
| ³ Ar | 5,6·10 ⁻³ | 270 лет | 565 |

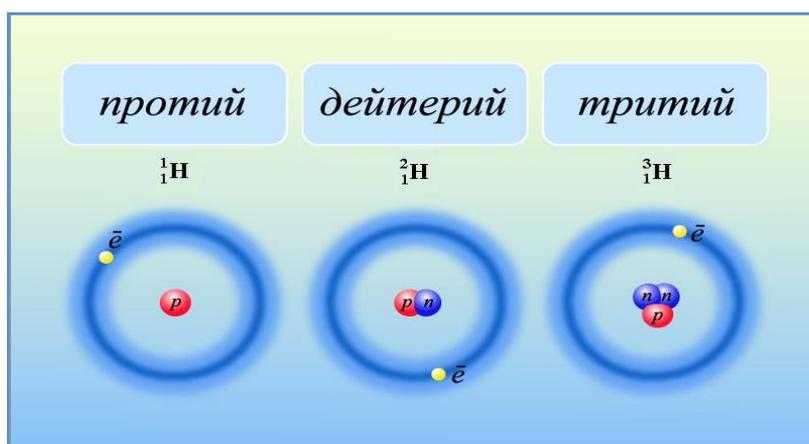
| | | | |
|------------------|---------------------|----------------------|------|
| ^{26}Kr | $1,5 \cdot 10^{-7}$ | $2,1 \cdot 10^5$ лет | э.з. |
|------------------|---------------------|----------------------|------|

Наиболее значимые в радиологическом плане радионуклиды этой группы - ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na и ^{24}Na [3].



3. Легкие естественные радионуклиды

Тритий. ^3H – единственный радиоактивный изотоп водорода ($T_{1/2} = 12,34$ года); характеризуется максимальной массой 3,025 а.е.м. (два другие изотопа водорода: протий и дейтерий - стабильны). Распад ^3H сопровождается β -излучением с очень низкой энергией 0,0186 МэВ [3, 9].



Мировом океане находится 65 % природного ^3H , на земной поверхности и в наземной биоте - 27%. Антропогенный тритий ^3H образуется и поступает в окружающую среду при производстве ядерной энергии на двух этапах ЯТЦ - при работе реакторов и при переработке отработавшего топлива. Кроме этого,

источником поступления ^3H в окружающую среду являются испытания ядерного и термоядерного оружия. Около 99 % количества природного ^3H превращается в тритированную воду - H^3HO .

Поведение ^3H в биотической и косной компонентах биосферы практически полностью определяется поведением его стабильного изотопного аналога - протия, стабильного изотопа одного из самых распространенных в биосфере химических элементов - водорода, по классификации Б.Б. Польшова [8] - абсолютного органогена, без которого невозможно физиологическое развитие живых организмов.

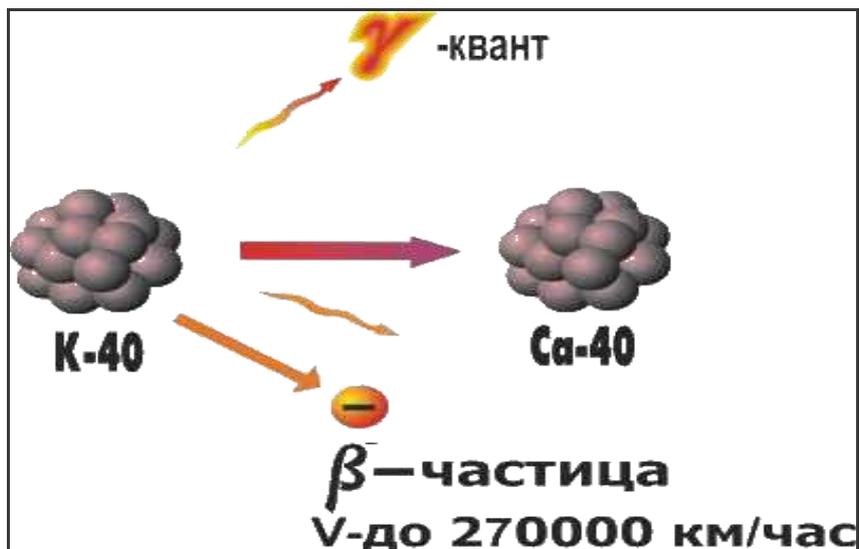
Углерод. В природной среде рассеяно два стабильных изотопа: ^{12}C (98,89%) и ^{13}C (1,108%). Основным радиоактивный изотоп углерода - ^{14}C (β -излучатель с энергией 156 кэВ и $T_{1/2} = 5730$ лет). Поступление ^{14}C во внешнюю среду происходит как в результате природных явлений (космическое излучение), так и в результате антропогенных процессов (ядерные взрывы, производство ядерной энергии, сжигание ископаемого топлива, использование препаратов, меченных ^{14}C).

Миграция ^{14}C в биосфере подчиняется закономерностям углеродного геохимического цикла. Образующийся ^{14}C , соединяясь с кислородом, превращается в $^{14}\text{CO}_2$, который затем вступает в обычный геохимический цикл углерода. Благодаря круговороту С в природе, происходит постоянный обмен ^{14}C между атмосферой, с одной стороны, и гидросферой, литосферой, педосферой и живыми организмами, с другой. В почвах ^{14}C входит в состав гумусовых соединений, карбонатов, $^{14}\text{CO}_2$ в почвенном воздухе и другие углеродсодержащие соединения.

Калий. В природной среде присутствуют три основных изотопа калия: два стабильных - ^{39}K и ^{41}K (их распространенность составляет соответственно 93,22% и 6,77%), а также один радиоактивный ^{40}K (0,0118%). ^{40}K является β -излучателем с энергией 1,32 МэВ и $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ лет. При распаде ^{40}K превращается в основном в стабильный изотоп кальция ^{40}Ca . В каждом грамме природного калия содержится 27 Бк ^{40}K . ^{40}K - один из основных (по активности) естественных радионуклидов в почвах, растениях и объектах агропромышленного производства.

А.П. Виноградов показал [3], что радиоактивность почвы определяется в первую очередь содержанием радионуклидов в материнской породе.

Максимальная радиоактивность обнаружена у почв, развившихся на кислых магматических породах, а наиболее высокая концентрация радионуклидов наблюдается в мелкодисперсной фракции почв – в глинистых частицах.



Поведение калия в почве и в звеньях биологических цепей полностью определяется поведением его стабильных изотопных носителей - ^{39}K и ^{41}K . В процессе хозяйственной деятельности человека потоки ^{40}K компонентах биосферы увеличиваются: в природе в круговорот дополнительно вовлечено $6,2 \cdot 10^{16}$ Бк ^{40}K . Так, концентрация ^{40}K в используемых в России фосфорных удобрениях составляет: в суперфосфате - 120 Бк/кг, в обогащенном концентрате - 70 Бк/кг, в обесфторенном фосфате - 30 Бк/кг. При средних нормах внесения калийных удобрений 60 кг/га в почву поступает ^{40}K в количестве $1,35 \cdot 10^6$ Бк/га.



4. Тяжелые естественные радионуклиды

Уран. Природный U состоит из трех радиоактивных изотопов - ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U , причем два последних являются родоначальниками радиоактивных семейств. Наиболее важным в радиологическом и токсикологическом отношениях по химическим свойствам является ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет, α -излучатель с энергией 4,18 МэВ).

Содержание ^{238}U , ^{235}U и ^{234}U в природной смеси изотопов U составляет соответственно 99,28; 0,71 и 0,006 %. Ведущим источником U в биосфере является земная кора. Содержание U в почвах определяется, прежде всего, его концентрацией в материнских породах [1]. Исключительно важным фактором, определяющим поведение ^{238}U , является его высокая массовая концентрация в почвах, в силу чего в поведении радионуклида более существенную роль играют химические свойства самого элемента, нежели стабильные аналоги. Состояние и закрепление (сорбция) ^{238}U в почвах зависят от многих факторов [4]. Степень окисления ^{238}U в почвах +4 и +6 [5, 12].

Радий. Природный Ra имеет четыре основных радиоизотопа: главный из них - ^{226}Ra , $T_{1/2} = 1622$ года, α -излучатель с энергиями 4,777 МэВ (94,3%) и 4,589 МэВ (5,7%); ^{228}Ra , $T_{1/2} = 6,7$ года, β -излучатель с энергией 0,012 МэВ; ^{223}Ra , $T_{1/2} - 1,2$ сут, α -излучатель с энергиями 5,704 МэВ (53%); 5,596 МэВ (24%) и 5,730 МэВ (9%); ^{224}Ra , $T_{1/2} = 3,64$ сут., α -излучатель с энергиями 5,681 МэВ (95%) и 5,448 МэВ (4,6%).

Для ^{226}Ra в природе характерно рассеянное состояние. Он не входит в состав отдельных минералов, а широко распространен в виде включений во многих образованиях. В дерново-подзолистых почвах Русской равнины ^{226}Ra содержится от $2,5 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}\%$, в серых лесных почвах и черноземах концентрация ^{226}Ra в среднем равна $1 \cdot 10^{-10}\%$, в верхних горизонтах сероземных почв полупустынь - около $7 \cdot 10^{-10}\%$.

В почвах ^{226}Ra обладает наибольшей миграционной способностью по сравнению с другими тяжелыми естественными радионуклидами. ^{226}Ra характеризуется более высоким содержанием подвижных соединений в почве: сумма водорастворимых, обменных и кислоторастворимых форм равна около 40%. Содержание прочно связанных и связанных с полуторными оксидами соединений ^{226}Ra значительно меньше, чем у ^{238}U и ^{232}Th , и составляет 50-60% [1, 3].

Свинец. Природный Pb состоит из четырех стабильных (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb) и четырех радиоактивных изотопов. Содержание стабильного Pb в земной коре $1,6 \cdot 10^{-3}\%$. В связи с этим поведение радиоизотопов Pb почвах определяется в основном поведением изотопного носителя - стабильных изотопов Pb. Наиболее важный из радионуклидов свинца - ^{210}Pb , являющийся дочерним продуктом ^{222}Rn . О поведении ^{210}Pb системе «почва – растение» можно судить по поведению стабильного Pb. Распределение природного Pb по профилю почв обуславливается наличием ряда геохимических барьеров в его миграции, причем накопление его идет более интенсивно в почвах с более высоким содержанием органического вещества [7].

^{210}Pb образует устойчивые комплексы с гуминовыми кислотами, причем степень их гумификации не оказывает существенного влияния на комплексообразующую способность. В кислых почвах ^{210}Pb присутствует главным образом в катионной форме при незначительном участии в миграции органических комплексов. В карбонатных почвах ^{210}Pb малоподвижен, так как в этих условиях доминируют нейтральные комплексы при незначительном участии катионных форм. Предполагают, что адсорбция ^{210}Pb может быть не только в катионной форме (Pb^{2+}), но и в анионной $\text{Pb}(\text{OH})^-$. Прочно сорбированный органическим веществом ^{210}Pb может передвигаться по профилю почв в составе коллоидов. Содержание связанных и прочно связанных с оксидами соединений ^{210}Pb достигает 50% [5].

Степень окисления ^{210}Pb в почве +2, реже +4; он образует устойчивые комплексы с гуминовыми кислотами. Интенсивность поглощения ^{210}Pb кислыми суспензиями гуминовых кислот изменяется в зависимости от pH раствора и концентрация обменных катионов. В кислых почвах ^{210}Pb присутствуют главным образом в катионной форме при незначительном содержании органических комплексов. В карбонатных почвах ^{210}Pb малоподвижен в силу доминированных нейтральных комплексов при незначительном содержании катионных форм. ^{210}Pb ассоциируется главным образом с глинистыми минералами, оксидами Mn, гидроксидами Fe и Al и органическим веществом [4-5]. При высоких pH ^{210}Pb осаждается в виде гидроксида, фосфата, карбоната, образует ^{210}Pb -органические комплексы. Органическим веществом почвы ^{210}Pb сорбируется очень прочно.

Радон. Радиологический интерес представляют два радиоизотопа Rn: прежде всего ^{222}Rn и несколько меньше ^{220}Rn ; ^{222}Rn - газообразный дочерний продукт ^{226}Ra с $T_{1/2} = 3,825$ сут, α -излучатель с энергией 5,48 МэВ. В воздухе над поверхностью суши в среднем содержится $25,9 \text{ Бк/м}^3$ ^{222}Rn .

^{220}Rn , называемый тороном (Tn), продукт распада ^{224}Ra (из семейства ^{232}Th), $T_{1/2}$ $^{220}\text{Rn} = 54,5$ сек., является α -излучателем с энергией 6,28 МэВ. ^{220}Rn и ^{222}Rn образуются в почве из своих материнских радионуклидов, а также поступают из подстилающих пород в почву в газообразной форме. Растворимость ^{222}Rn и ^{220}Rn в воде невелика. Как инертные газы ^{222}Rn и ^{220}Rn мало вовлекаются в круговорот из почвы, но их роль как источников внешнего облучения (компонентов естественного фона) человека и живых организмов весьма значительная [1, 3].

5. Искусственные радионуклиды

Появление техногенных, или искусственных, радионуклидов (ИРН) в биосфере связано с деятельностью человека. В соответствии с генезисом ИРН подразделяют на три группы [3, 4].

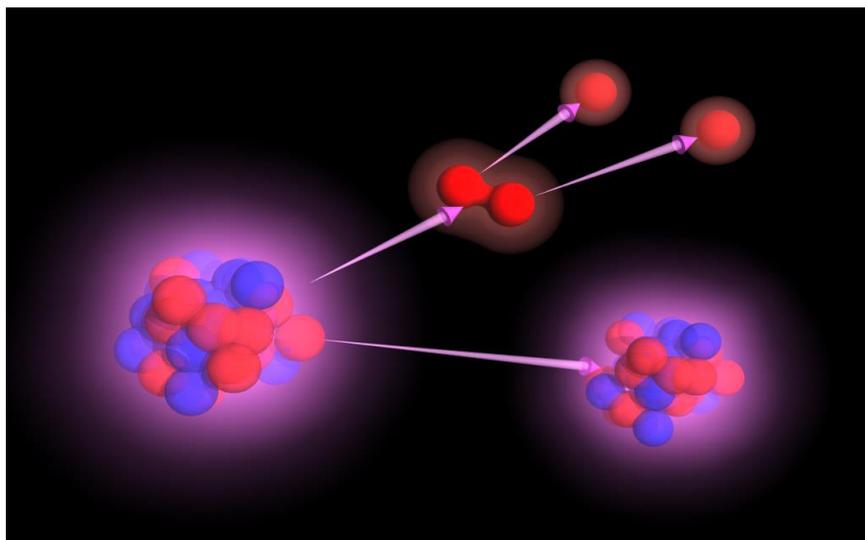
1. *Радиоактивные продукты ядерного деления*, возникающие в реакциях деления ядер ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и др., образуют первую группу. Основные источники этой группы радионуклидов в биосфере - испытания ядерного оружия, функционирование предприятий ЯТЦ и атомной промышленности (ядерно-энергетические установки, радиохимические заводы).

2. Вторую группу ИРН составляют *продукты наведенной активации*, образующиеся в результате ядерных реакций элементарных частиц (в основном нейтронов) с ядрами атомов стабильных элементов, входящих в состав конструкционных материалов коммуникаций и теплоносителей ядерных реакторов, корпусов ядерных боеголовок и так далее.

3. Третья группа ИРН - *радиоактивные трансурановые элементы*, возникающие в ядерно-энергетических установках и при ядерных взрывах в результате последовательных ядерных реакций (п, V) с ядрами атомов делящегося материала и последующего радиоактивного распада образовавшихся сверхтяжелых ядер. Радионуклиды этой группы (радиоизотопы Np, Pu, Am, Cm и др.) в основном α -активные, характеризуются очень высокой радиотоксичностью, большим периодом полураспада, отсутствием стабильных изотопных аналогов в природе.

6. Продукты ядерного деления

Стронций. Природный стронций Sr состоит из четырех стабильных изотопов с массовыми числами 84, 86, 87, 88. Содержание стабильного Sr в земной коре $3,4 \cdot 10^{-2}\%$. В число продуктов деления входят два радиоизотопа Sr: ^{90}Sr , относящийся к числу самых биологически подвижных ($T_{1/2} = 28,1$ года, β -излучатель с максимальной энергией 0,544 МэВ), и ^{89}Sr , более короткоживущий радионуклид ($T_{1/2} = 50,5$ сут, β -излучатель с энергией 1,463 МэВ).



Закрепление и распределение ^{89}Sr и ^{90}Sr в компонентах почв в основном определяются закономерностями поведения изотопного носителя – стабильного стронция Sr, а также химического аналога – стабильного кальция Ca, содержание которого в земной коре составляет 2,96% [3].

На поведение ^{90}Sr в почве оказывает значительное влияние органическое вещество. Распределение и подвижность ^{90}Sr в значительной степени определяется количественным составом гумуса. Снижение доли ионообменно связанных форм ^{90}Sr в почвах с течением времени происходит достаточно медленно [9]. Известкование кислых почв и внесение фосфатов калия повышают прочность закрепления ^{90}Sr почвами и способствует переводу радионуклида из водорастворимой и обменной форм в необменную. Так, при внесении в дерново-подзолистую почву однозамещенного фосфата Ca водорастворимая доля ^{90}Sr составляет 2,7%, обменная – 44,0%, количество ^{90}Sr находившегося в необменном состоянии, равно 41,0%, тогда как в исходной почве содержание ^{90}Sr в обменной форме составляет 85%. Содержание

необменных форм ^{90}Sr возрастает с внесением в почву фосфорных удобрений и извести от 1,5 до 4 раз [3, 7].

Цезий. Природный цезий Cs представлен одним стабильным изотопом ^{133}Cs , содержание которого в земной коре равно $6,5 \cdot 10^{-4}\%$. В состав продуктов деления входят два радиоизотопа цезия - ^{137}Cs и ^{134}Cs , относящиеся к числу биологически подвижных в сельскохозяйственных цепочках. ^{137}Cs - один из основных дозообразующих радионуклидов среди продуктов деления. $T_{1/2}$ ^{137}Cs = 30,17 года, он - β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 1,76 МэВ. ^{134}Cs имеет $T_{1/2}$ = 2,06 года с максимальной энергией β -излучения 0,662 МэВ и γ -излучения 1,367 МэВ. Большая подвижность ^{134}Cs и ^{137}Cs определяется тем, что это радиоизотопы щелочного элемента, химического аналога биогенно важного элемента К, который в природных системах является химическим носителем ^{134}Cs и ^{137}Cs [3, 7-8].

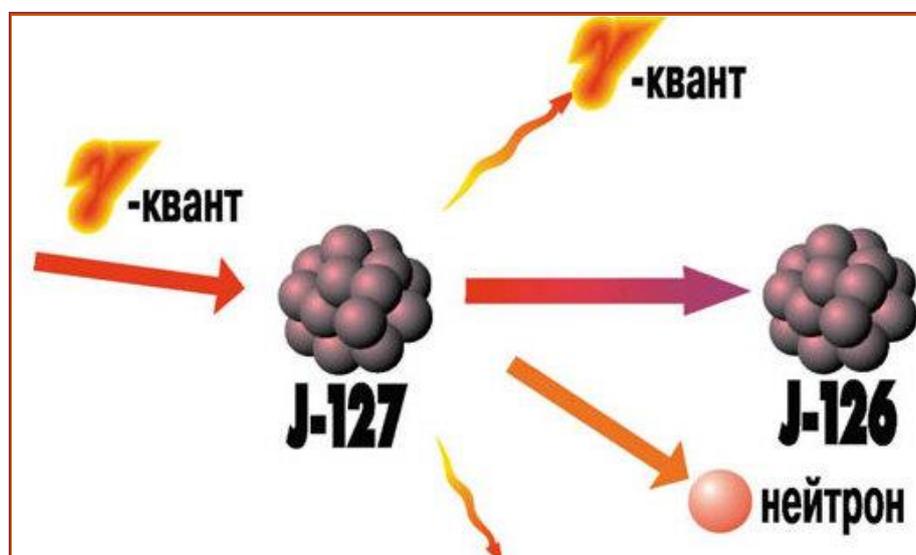
Основной фракцией, ответственной за сорбцию ^{137}Cs в почве, является ил (в илистой фракции почв остается наибольшее количество ^{137}Cs , которое не вытесняет в раствор NH_4Cl после нескольких обработок: в иле дерново-подзолистой – 50%, чернозема – 70% от поглощенного). На сорбцию ^{135}Cs значительное влияние оказывает минералогический состав почв. На сорбцию ^{137}Cs почвами оказывает существенное влияние калий: замещение всех обменных катионов почвы на К заметно увеличивает сорбцию ^{137}Cs . Поглощение ^{137}Cs почвой изменяется от присутствия в системе «почва – раствор» стабильного цезия: чем выше содержание стабильного Cs, тем меньше ^{137}Cs сорбируется почвой.

Роль органического вещества в сорбции радиоизотопов Cs твердой фазой почв невелика, закрепление ^{137}Cs в органогенных почвах, как правило, незначительно. Исключение представляют почвы торфяного болотного рядов (как, например, в районе аварии на Чернобыльской АЭС), где высокая подвижность ^{137}Cs в системе «почва – растение» связывается с наличием в почвах большого количества органических соединений, содержащих ^{137}Cs . [1 - 3].

Иод. Природный иод I представлен одним стабильным изотопом ^{127}I , содержание которого в земной коре составляет $4 \cdot 10^{-5}\%$, в буровых водах - $3 \cdot 10^{-5}\%$, в морской воде $6 \cdot 10^{-5}\%$. Средняя концентрация ^{127}I в почвах составляет $5 \cdot 10^{-5}\%$. Среди радиоизотопов I наиболее радиологически значительными

являются ^{129}I и ^{131}I . ^{131}I имеет $T_{1/2} = 8,04$ сут; это β -излучатель с максимальной энергией 0,608 МэВ (87,2%). $T_{1/2} \text{ } ^{129}\text{I} = 1,57 \cdot 10^7$ лет, β -излучатель с энергией 0,150 МэВ. Валовое содержание природного ^{127}I в пределах территории РФ варьирует в зависимости от типа почвы от $n \cdot 10^{-1}$ до $n \cdot 10^1$ мг/кг, Содержание I в почве и запасы в ней гумуса находятся в тесной корреляции [1].

Закрепление и распределение ^{129}I в компонентах почв в основном определяются закономерностями поведения изотопного носителя ^{127}I . Степень окисления иода в почве зависит от почвенно-химических условий, в первую очередь от окислительно-восстановительного потенциала почвы. Время установления квазиравновесного состояния поступившего в почву радиоиода составляет от 10 до 100 суток для черноземов и дерново-подзолистых почв, до 7 месяцев - для карбонатных и высоко гумусированных почв [3].



Специфика взаимодействия I с почвами связана с его нахождением в анионных формах, в связи с чем его сорбция в кислой среде значительно выше, чем в нейтральной. Главную роль в связывании и трансформации I в почве играет органическое вещество [6, 10, 12].

Церий. Природный церий Ce состоит из трех стабильных изотопов с массовыми числами 138, 140 и 143. Содержание стабильного Ce в земной коре составляет $4,5 \cdot 10^{-3}\%$. В смеси продуктов деления присутствуют два радионуклида - ^{141}Ce и ^{144}Ce . $T_{1/2} \text{ } ^{141}\text{Ce}$ составляет 32,5 сут., β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 0,580 МэВ, γ -излучения 0,145 МэВ. $T_{1/2} \text{ } ^{144}\text{Ce}$ равен 284,3 сут, β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 0,320 МэВ, γ -излучения 0,134 МэВ. Закрепление и распределение

^{141}Ce и ^{144}Ce в компонентах почв в основном определяются закономерностями поведения изотопного носителя - стабильного церия.

Существенное влияние на сорбцию ^{144}Ce твердой фазой почв оказывает присутствие в почвенном растворе Fe^{3+} и Al^{3+} , поскольку в зависимости от pH ^{144}Ce может осаждаться или адсорбироваться на коллоидах гидроксидов этих элементов. Поглощение ^{144}Ce твердой фазой почв снижается с ростом содержания гумуса в почве за счет образования Ce-органических соединений. ^{144}Ce способен также образовывать растворимые комплекс соединения с растительными экстрактами [1, 7, 12].

Рутений. Природный рутений Ru состоит из семи стабильных изотопов с массовыми числами 96, 98-102, 104. Содержание стабильного Ru в земной коре $5 \cdot 10^{-7} \%$. Радиологически наиболее значимые радиоизотопы Ru - ^{103}Ru и ^{106}Ru . ^{103}Ru , $T_{1/2} = 39,35$ сут, β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 0,710 МэВ, γ -излучения 0,610 МэВ. ^{106}Ru $T_{1/2} = 368,2$ сут., β -излучатель с максимальной энергией излучения 0,039 МэВ. В закреплении и распределении Ru в компонентах почв исключительно важную роль играют коллекторные носители, окислительно-восстановительный режим почв, присутствие в почве органических и неорганических лигандов, pH почвенного раствора [4, 5, 13].

Цирконий. Природный цирконий Zr состоит из пяти стабильных изотопов с массовыми числами 90,91, 92,94 и 96. Содержание его в земной коре $12 \cdot 10^{-2} \%$. Распределение и закрепление в компонентах почв радиологически значимого радиоизотопа Zr - ^{95}Zr ($T_{1/2} = 64,05$ сут., β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 0,89 МэВ, γ -излучения 0,756 МэВ) определяются в основном закономерностями поведения изотопного носителя - стабильного циркония [3, 11].

Ниобий. Природный ниобий Nb представлен одним стабильным изотопом ^{93}Nb , содержание которого в земной коре составляет $2 \cdot 10^{-3} \%$. Радиологически значимый радионуклид ^{94}Nb ($T_{1/2} = 35,1$ сут., β -излучатель с максимальной энергией β -излучения 0,160 МэВ) является дочерним изотопом ^{95}Zr . Наиболее устойчивы в почве соединения ^{94}Nb со степенью окисления +5. Многие соединения ^{94}Nb слаборастворимы, как в кислой, так и в щелочной средах. В присутствии органических лигандов возможно увеличение

растворимости ^{94}Nb . В почвах гумидного климата ^{94}Nb более подвижен, чем с условиями аридного [1].

Барий. ^{140}Ba , $T_{1/2} = 12,78$ сут, β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения. 1,010 МэВ, γ -излучения 0,537 МэВ. ^{140}Ba как представитель щелочноземельных радионуклидов относится к числу остаточного подвижных в почвах.

7. Нуклиды с наведенной активностью

Марганец. Природный Mn представлен одним стабильным изотопом ^{55}Mn , содержание которого в земной коре составляет 0,1%, а в почвах варьирует в пределах 0,01-0,3%. Радиологически наиболее значимым является радиоизотоп Mn с массовым числом 54. ^{54}Mn имеет $T_{1/2} = 31,23$ сут., γ -излучатель с максимальной энергией 0,83 МэВ. Поведение его в почвах очень сложно и в основном определяется закономерностями поведения изотопного носителя - ^{55}Mn .

При увеличении Eh (окислительные условия) и высоких значениях pH преобладают окисленные труднорастворимые соединения Mn. При pH 8,5-8,7 Mn^{2+} осаждается в виде $\text{Mn}(\text{OH})_2$ с последующим окислением до $\text{Mn}(\text{OH})_4$ или Mn_3O_4 , при этом возможно также образование анионных комплексов с неорганическими и органическими лигандами. В восстановительных условиях в кислой среде растворимость Mn увеличивается. Концентрация Mn в почвенном растворе в зависимости от pH и Eh может варьировать в пределах 25- 2200 мкг/л [5].

Кобальт. Природный Co состоит из двух стабильных изотопов - ^{59}Co и ^{57}Co . Содержание стабильного Co в земной коре составляет $4 \cdot 10^{-3}\%$. Закрепление, распределение и трансформация в почве ^{60}Co , наиболее радиологически значимого радиоизотопа кобальта ($T_{1/2} = 5,272$ года, β - и γ -излучатель с максимальной энергией β -излучения 1,33 МэВ) соответствуют закономерностям поведения в почве его изотопного носителя стабильного Co [3, 5, 11].

Железо. Природное Fe состоит из четырех стабильных изотопов с массовыми числами 54, 56, 57 и 58. Содержание стабильного Fe в земной коре 4,65%, а в почвах 0,5-11%. Наиболее радиологически значимые радионуклиды Fe – ^{55}Fe и ^{59}Fe ($T_{1/2}^{55}\text{Fe} = 2,6$, имеет характеристическое излучение с энергией 5,9 МэВ; ^{59}Fe ($T_{1/2}^{59}\text{Fe} = 45,1$ сут, β - и γ -излучатель с максимальной энергией

β -излучения 1,560 МэВ, γ -излучения 1,29 МэВ), поведение которых в почвах определяется закономерностями поведения в почвах стабильного Fe. Поведение Fe в почвах тесно связано с геохимическими циклами O, S и C [5]. Наиболее важными факторами, влияющими на закрепление и распределение ^{55}Fe и ^{59}Fe в почвах, является окислительно-восстановительный режим и кислотность почвенного раствора. В окислительной обстановке при щелочной реакции среды происходит осаждение труднорастворимых соединений Fe, в восстановительных условиях при кислой реакции среды - образование растворимых форм.

Цинк. Природный Zn представлен пятью стабильными изотопами с массовыми числами 64, 66, 67, 68 и 70. Содержание стабильного Zn в земной коре $8,3 \cdot 10^{-3}\%$, а в почве - $5 \cdot 10^{-3}\%$. Поведение наиболее радиологически значимого радионуклида цинка ^{65}Zn ($T_{1/2} = 244,1$ сут., β - и γ -излучатель с максимальной энергией β^+ -излучения 0,325 МэВ и γ -излучения 1,11 МэВ) в почвах определяется закономерностями поведения его изотопного носителя – стабильного цинка.

Основными процессами, контролирующими подвижность и фиксацию ^{65}Zn в почве, являются адсорбция, соосаждение, образование комплексов с органическими и неорганическими лигандами, в том числе хелатов, микробиологическая фиксация. В почвах преобладают обменные и кислоторастворимые формы ^{65}Zn . Содержание обменных форм больше для кислых почв и глиноземов, в степных почвах доминируют кислоторастворимые формы ^{65}Zn [2, 13].

Заключение

В последние годы заметно возросло внимание к оценке роли естественного фона ионизирующих излучений как важного экологического и гигиенического фактора. Это дало стимул к детальному изучению круговорота большого числа естественных и искусственных радионуклидов, в том числе систем «почва – сельскохозяйственные растения – сельскохозяйственные животные – человек». В формировании суммарной дозовой нагрузки на население от естественного и наведенного радиационного фона заметная роль принадлежит внутреннему облучению, то есть облучению, обусловленному отложением в организме человека инкорпорированных радионуклидов, поступавших с продуктами питания (молоком, мясом, хлебом и пр.). Это

послужило причиной широкого радиационного мониторинга агропромышленной сферы, включающего оценку содержания ведущих естественных и искусственных радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции [2].

При этом особое внимание уделяется радиологическому контролю продукции растениеводства и животноводства, выращиваемой на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Данная проблема остается весьма актуальной на территории Тульской области спустя 34 года после катастрофы на ЧАЭС, где и в наши дни отмечены проявления повышенных уровней радиационного гамма-фона в селитебных, агропромышленных и рекреационных зонах (3 и 4 зоны), что обусловлено пролонгированным воздействием радиоцезия, выпавшего на тульскую землю с чернобыльскими осадками весной 1986 года.

Список использованной литературы

1. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. и др. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Наука, 2009. – 350 с.
2. Алексахин Р.М., Буфатин О.И., Маликов В.Г. и др. Радиоэкология орошаемого земледелия / Под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 224 с.
3. Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарев В.Г. и др. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Кореева. – М.: Экология, 2012. – С. 1 – 3; 22 – 49.
4. Искра А.А., Бахуров В.Г. Естественные радионуклиды в биосфере. – М.: Энергоиздат, 2015. – 123 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М., 2009. – 439 с.
6. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.
7. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат, 2014. – 215 с.

8. Польшов Б.Б. К вопросу о роли элементов биосферы в эволюции организмов // Избранные труды. – М., 1996. – С. 435 – 449.
9. Пристер Б.С., Лоцилов Н.А., Немец О.Ф., Поярков В.А. Основы сельскохозяйственной радиоэкологии. – Киев: Урожай, 2012. – 256 с.
10. Тихомиров Ф.А. Радиоэкология йода. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 88 с.
11. <https://sciencejournals.ru/journal/radkhim/>
12. <https://ib.komisc.ru/rus/struktura/nauchnye-podrazdeleniya/laboratoriya-migratsii-radionuklidov-i-radiokhimii>
13. <https://uralstroylab.ru/stati/agrokhimicheskij-radiokhimicheskij-gazogeokhimiche/>