МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

"Пермская государственная сельскохозяйственная академия

имени академика Д. Н. Прянишникова"

Кафедра биологи и физиологии сельскохозяйственных животных

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по дисциплине "Радиобиология"

Выполнила студентка 4 курса

специальности "Зоотехния" гр. 24 А

шифр З-07-2

Попова Ирина Михайловна

Проверил: профессор

Аксенова В. М.

Пермь 2010

**СОДЕРЖАНИЕ:**

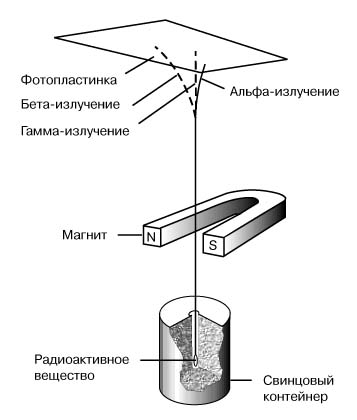
1. Характеристика радиоактивных излучений……………………………3
2. Метаболизм и токсикология радиоизотопов стронция………………..9
3. Использование радиоактивных изотопов в качестве индикатора «меченых» атомов.

**Характеристика радиоактивных излучений.**

Радиоактивность – отнюдь не новое явление; новизна состоит лишь в том, как люди пытались ее использовать. Радиоактивность – самопроизвольное превращение атомов одного элемента в атомы других элементов, сопровождающееся испусканием частиц и жесткого электромагнитного излучения. И радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. Около 20 миллиардов лет назад радиация стала постоянно наполняет космическое пространство. Радиоактивные материалы вошли в состав Земли с самого ее рождения. Даже животные слегка радиоактивны, так как во всякой живой ткани присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества. Но с момента открытия этого универсального фундаментального явления не прошло еще и ста лет.

**Излучение радиоактивных веществ.** Естественные радиоактивные элементы испускают три вида излучений: альфа, бета и гамма. В 1899 Резерфорд идентифицировал альфа- и бета-излучение; спустя год П.Вийар открыл гамма-излучение.  
Резерфорд и английский физик Ф. Содди указали, что испускание *α*-лучей сопровождается превращением химических элементов, например, превращением радия в радон. В 1913 американский учёный К. Фаянс и Содди независимо сформулировали т. н. правило смещения, характеризующее перемещение нуклида в периодической системе элементов при α-и *β*-распадах.

**Альфа-излучение.** В воздухе при атмосферном давлении альфа-излучение преодолевает лишь небольшое расстояние, как правило, от 2,5 до 7,5см. В условиях вакуума электрическое и магнитное поля заметно отклоняют его от первоначальной траектории. Направление и величина отклонений указывают на то, что альфа-излучение - это поток положительно заряженных частиц, для которых отношение заряда к массе (e/m) в точности соответствует дважды ионизированному атому гелия (He++). Эти данные и результаты спектроскопического исследования собранных альфа-частиц позволили Резерфорду сделать вывод о том, что они являются ядрами атома гелия.  
**Бета-излучение.** Это излучение обладает большей проникающей способностью, чем альфа-излучение. Как и альфа-излучение, оно отклоняется в магнитном и электрическом полях, но в противоположную сторону и на большее расстояние. Это указывает на то, что бета-излучение является потоком отрицательно заряженных частиц малой массы. По отношению e/m Резерфорд идентифицировал бета-частицы как обычные электроны.



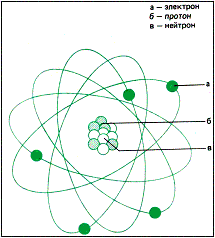
**рис.1** *Схема эксперимента, иллюстрирующего. отклонение разных видов радиоактивного излучения в магнитном поле*

**Гамма-излучение.** Гамма-излучение проникает в вещество гораздо глубже, чем альфа- и бета-излучения. Оно не отклоняется в магнитном поле и, следовательно, не имеет электрического заряда. Гамма-лучи были идентифицированы как жесткое (т.е. имеющее очень высокую энергию) электромагнитное излучение. Разделение радиоактивного излучения в магнитном поле на альфа-, бета- и гамма-лучи схематично показано на рисунке.

В 1934 французские физики И. и Ф. Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность, т. е. радиоактивность ядер — продуктов ядерных реакций, которая впоследствии приобрела особенно важное значение. Из общего числа (~2000) известных радиоактивных нуклидов лишь около 300 — природные, а остальные получены в результате ядерных реакций. Между искусственной и естественной радиацией нет принципиального различия. Изучение искусственной радиации привело к открытию новых видов *β*–распада - позитронному *β*+-распаду и электронному захвату.В 1939 был обнаружен распад с испусканием запаздывающих нейтронов. В 1940 К. А. Петржак и Г. Н. Флёров открыли спонтанное деление ядер.

Для процессов радиоактивного распада характерен экспоненциальный закон уменьшения во времени среднего числа радиоактивных ядер. Продолжительность жизни радиоактивных ядер характеризуют п е р и од ом п о л у р а-с п а д а T 1/2,(проме-жутком времени, за который число радиоактивных ядер уменьшается в среднем вдвое).

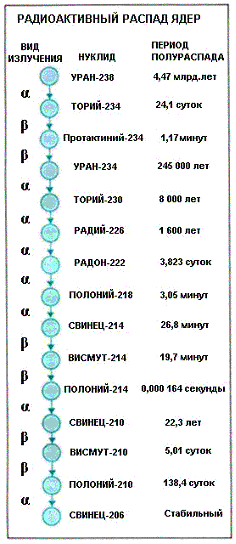
Во многих случаях продукты радиоактивного распада сами оказываются радиоактивными, и тогда образованию стабильных нуклидов предшествует цепочка из нескольких актов радиоактивного распада. Характерными примерами систем, в которых происходят сложные радиоактивные превращения, являются радиоактивные рядыизотопов тяжёлых элементов. Многие радиоактивные ядра могут распадаться по двум или нескольким из перечисленных выше основных типов радиации. В результате конкуренции разных путей распада возникают разветвления радиоактивных превращений. Для природных радиоактивных изотопов характерны разветвления, обусловленные возможностью α-и *β*- распадов. Для трансурановых элементов наиболее типичны разветвления, связанные с конкуренцией α-(реже *β*-) распадов и спонтанного деления. У нейтронодефицитных ядер часто наблюдается конкуренция *β*+-распада и электронного захвата. Для многих ядер с нечётными Z (число протонов) и чётными А (массовое число) оказываются энергетически возможными два противоположных варианта *β*-распада: *β* -распад и электронный захват или *β* - и *β* +-распады.



Главным объектом исследования ученых был сам атом, вернее его строение. Мы знаем теперь, что атом похож на Солнечную систему в миниатюре: вокруг крошечного ядра движутся по орбитам «планеты» – электроны. Размеры ядра в сто тысяч раз меньше размеров самого атома, но плотность его очень велика, поскольку масса ядра почти равна массе всего атома. Ядро, как правило, состоит из нескольких более мелких частиц, которые плотно сцеплены друг с другом (рис. 2).

**рис.2**

Некоторые из этих частиц имеют положительный заряд и называются протонами. Число протонов в ядре и определяет, к какому химическому элементу относится данный атом: ядро атома водорода содержит всего один протон, атома кислорода -8, урана -92. В каждом атоме число электронов в точности равно числу протонов в ядре; каждый электрон несет отрицательный заряд, равный по абсолютной величине заряду протона, так что в целом атом нейтрален. В ядре, как правило, присутствуют и частицы другого типа, называемые нейтронами, поскольку они электрически нейтральны. Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одно и тоже число протонов, но число нейтронов в них может быть разным. Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, относятся к разным разновидностям одного и того же химического элемента, называемым изотопами данного элемента. Чтобы отличить, их друг от друга, к символу элемента приписывают число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Так, уран-238 содержит 92 протона и 146 нейтронов; в уране-235 тоже 92 протона, но 143 нейтрона. Ядра всех изотопов химических элементов образуют группу «нуклидов».



Некоторые нуклиды стабильны, т.е. в отсутствие внешнего воздействия никогда не претерпевают никаких превращений. Большинство же нуклидов нестабильны, они все время превращаются в другие нуклиды. В качестве примера возьмем хотя бы атом урана-238, в ядре которого протоны и нейтроны едва удерживаются вместе силами сцепления. Время от времени из него вырывается компактная группа из четырех частиц: двух протонов и двух нейтронов (α-частица). Уран-238 превращается, таким образом, в торий-234, в ядре которого содержатся 90 протонов и 144 нейтрона. Но торий-234 также нестабилен. Его превращение происходит, однако, не так, как в предыдущем случае: один из его нейтронов превращается в протон, и торий-234 превращается в протактиний-234, в ядре которого содержатся 91 протон и 143 нейтрона. Эта метаморфоза, произошедшая в ядре, сказывается и на движущихся по своим орбитам электронах: один из них становится неспаренным и вылетает из атома. Протактиний очень нестабилен, и ему требуется совсем немного времени на превращение. . Далее следуют иные превращения, сопровождаемые излучениями, и вся эта цепочка в конце концов оканчивается стабильным нуклидом свинца (см. рис. 3). Разумеется, существует много таких цепочек самопроизвольных превращений (распадов) разных нуклидов по разным схемам превращений и их комбинациям.

**рис.3**

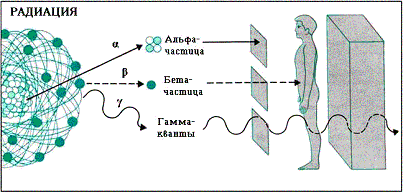
При каждом таком акте распада высвобождается энергия, которая и передается дальше в виде излучения. Можно сказать (хотя это и не совсем строго), что испускание ядром частицы, состоящей из двух протонов и двух нейтронов, – это альфа-излучение: испускание электрона, как в случае распада тория-234, – это бета-излучение. Часто нестабильный нуклид оказывается настолько возбужденным, что испускание частицы не приводит к полному снятию возбуждения; тогда он выбрасывает порцию чистой энергии, называемую гамма-излучением (гамма-квантом). Как и в случае рентгеновских лучей (во многом подобных гамма-излучению), при этом не происходит испускания каких-либо частиц.

Весь процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида называется радиоактивным распадом, а сам такой нуклид – радионуклидом. Но хотя все радионуклиды нестабильны, одни из них более нестабильны, чем другие. Например, протактиний-234 распадается почти моментально, а уран-238 – очень медленно. Половина всех атомов протактиния в каком-либо радиоактивном источнике распадается за время, чуть большее минуты, в то же время половина всех атомов урана-238 превратится в торий-234 за четыре с половиной миллиарда лет.

Время, за которое распадается в среднем половина всех радионуклидов данного типа в любом радиоактивном источнике, называется периодом полураспада соответствующего изотопа.

Этот процесс продолжается непрерывно. За время, равное одному периоду полураспада, останутся неизменными каждые 50 атомов из 100, за следующий аналогичный промежуток времени 25 из них распадутся, и так далее по экспоненциальному закону. Число распадов в секунду в радиоактивном образце называется его активностью. Единицу измерения активности (в системе СИ) назвали беккерелям (Бк) в честь ученого, открывшего явление радиоактивности; один беккерель равен одному распаду в секунду.

Разные виды излучений сопровождатся высвобождением разного количества энергии и обладают разной проникающей способностью, поэтому они оказывают неодинаковое воздействие на ткани живого организма (рис.4). Альфа-излучение, которое представляет собой поток тяжелых частиц, состоящих из нейтронов и протонов, задерживается, например, листом бумаги и практически не способно проникнуть через наружный слой кожи, образованный отмершими клетками. Поэтому оно не представляет опасности до тех пор, пока радиоактивные вещества, испускающие *α*-частицы, не попадут внутрь организма через открытую рану, с пищей или с вдыхаемым воздухом; тогда они становятся чрезвычайно опасными. Бета-излучение обладает большей проникающей способностью: оно проходит в ткани организма на глубину один-два сантиметра. Проникающая способность гамма-излучения, которое распространяется со скоростью света, очень велика: его может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита.



**рис. 4**

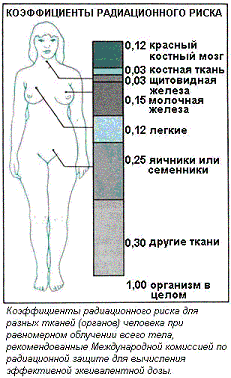
Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям; количество такой переданной организму энергии называется дозой (термин не слишком удачный, поскольку первоначально он относился к дозе лекарственного препарата, т.е. дозе, идущей на пользу, а не во вред организму). Дозу излучения организм может получить от любого радионуклида или их смеси независимо от того, находятся ли они вне организма или внутри его (в результат попадания с пищей, водой или воздухом). Дозы можно рассчитывать по-разному с учетом того, каков размер облученного участка и где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей и в течение какого времени это происходило.

Количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела (тканями организма), называется **поглощенной дозой**(рис. 5) и измеряется в системе СИ в грэях (Гр). Но эта величина не учитывает того, что при одинаково поглощенной дозе альфа-излучение гораздо опаснее бета- или гамма-излучений.



**рис. 5**

Если принять во внимание этот факт то дозу следует умножить на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организм: альфа-излучение считается при этом в двадцать раз опаснее других видов излучений. Пересчитанную таким образом дозу называют **эквивалентной дозой;**ее измеряют в системе СИ в единицах, называемых зивертами (Зв).



Следует учитывать также, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений.

Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами (рис. 6).

Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав по всем органам и тканям, получим **эффективную эквивалентную дозу,**отражающую суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в зивертах.

**рис. 6**

Эти три понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, мы придем к**коллективной эффективной эквивалентной дозе,**которая измеряется в человеко-зивертах (чел-Зв).

Следует ввести, однако, еще одно определение, поскольку многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся радиоактивными и в отдаленном будущем. Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получат многие поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования, называют **ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой.**

Такая иерархия понятий на первый взгляд может показаться слишком сложной, но тем не менее она представляет собой логически последовательную систему и позволяет рассчитывать согласующиеся или сопоставимые друг с другом дозы облучения. В последующих частях материал будет излагаться так, чтобы по возможности избежать употребления этих терминов, однако без них иногда не удается достичь необходимой точности и ясности изложения.

**Характеристика  радиоактивных излучений**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Вид излучения** | **Состав** | **Проникающая способность** | **Ионизирующая  способность** | | **Защита** | | | альфа | поток ядер гелия | 10 см в  воздухе | 30000 пар  ионов на 1 см пути | | лист  писчей бумаги | | | бета | Поток электронов | 20 м в воздухе | 70 пар  ионов на 1 см пути | летняя  одежда наполовину задерживает | |  | | гамма | Электромагнит  ное излучение | сотни метров | несколько пар ионов на 1 см пути | не задерживается | |  | | нейтронное | Поток нейтронов | несколько километров | Несколько тысяч пар ионов на 1 см пути, кроме того, вызывает наведенную активность | задерживается материалами из углеводородов | |  | |

**Таблица 1**

**Теория радиоактивного распада.** В процессе эмиссии радиоактивного излучения вещество претерпевает ряд изменений. Так, например, излучение радия сопровождается выделением газообразного радона ("эманацией"). В свою очередь радон, распадаясь, оставляет радиоактивные отложения на стенках содержащего его сосуда. Собранная при распаде радия эманация теряет половину исходной активности примерно за 4 сут. Эти и другие не поддававшиеся интерпретации экспериментальные факты удалось объяснить с помощью теории радиоактивного распада атомов, предложенной Резерфордом и Содди в 1903, а также правила смещения, сформулированного в 1913 А.Расселом и независимо от него Фаянсом и Содди. Суть теории Резерфорда и Содди состоит в том, что в результате радиоактивного распада происходит превращение одного химического элемента в другой.  
**Правило смещения.** Правило смещения точно указывает, какие именно превращения претерпевает химический элемент, испуская радиоактивное излучение.  
**Эмиссия альфа- и бета-частиц.** Правило смещения можно пояснить с помощью ядерной модели атома, предложенной Резерфордом в 1911. Согласно этой модели, в центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена основная часть массы атома. Вокруг ядра вращаются электроны, заряд которых компенсирует положительный заряд ядра. Каждому атому приписывается свой атомный номер Z, соответствующий его порядковому номеру в периодической таблице Менделеева и численно равный заряду ядра, выраженному в единицах заряда электрона. Альфа-частица имеет Z = 2 и массовое число (округленный атомный вес) A = 4. Если неустойчивое ядро испускает бета-частицу, то его Z увеличивается на единицу, а массовое число не изменяется. Следовательно, радиоактивный атом превращается в следующий по порядку атом таблицы Менделеева. При эмиссии альфа-частицы Z и A вновь образованного ядра уменьшаются на 2 и 4 единицы соответственно, а дочерний атом, испытав соответствующее изотопическое превращение, "смещается" в таблице Менделеева влево от родительского элемента.  
**Гамма-излучение.** Орбитальные электроны, получив избыток энергии, могут переходить на более высокие энергетические уровни. Возвращаясь в основное (нормальное) состояние, они отдают избыток энергии в виде света или рентгеновского излучения. Ядра атомов, обладающие избыточной энергией, также могут переходить в возбужденное состояние. Подобное возбуждение часто испытывают ядра, образующиеся в процессе радиоактивных превращений. Переходя в основное состояние, они излучают избыток энергии в виде гамма-квантов. Особый интерес представляет вариант распада, когда радиоактивное ядро имеет большое время жизни возбужденного состояния. В этом случае у находящихся в разных энергетических состояниях одинаковых ядер (с одинаковыми значениями Z и A) наблюдаются однотипные радиоактивные распады, но происходят они с разными скоростями, поскольку одни ядра распадаются из возбужденного, а другие из основного состояния. Это явление получило название ядерной изомерии, а возбужденное и нормальное ядра называются изомерами.

**Метаболизм и токсикология радиоизотопов стронция.**

**Стронций** (лат. Strontium), Sr, химический элемент II группы периодической Системы Менделеева, атомный номер 38, атомная масса 87,62, серебристо-белый металл. Природный стронций состоит из смеси четырёх стабильных изотопов: 84Sr, 86Sr, 87Sr и 88Sr; наиболее распространён 88Sr (82,56%).

Искусственно получены радиоактивные изотопы с массовыми числами от 80 до 97, в том числе 90Sr (*Т* 1/2 *=* 27,7 года), образующийся при делении урана. В 1790 шотландский врач А. Крофорд, исследуя найденный близ населённого пункта Строншиан (в Шотландии) минерал, обнаружил, что он содержит неизвестную ранее "землю", которая была названа стронцианом. Позднее оказалось, что это окись сронция SrO. В 1808г Г. **Дэви**, подвергая электролизу с ртутным катодом смесь увлажнённой гидроокиси Sr(ОН)2 с окисью ртути, получил амальгаму стронция.

**Распространение в природе.** Среднее содержание стронция в земной коре 3,4-102% по массе, в геохимических процессах он является спутником кальция. Известно около 30 минералов стронция: важнейшие - **целестин** SrSO4 и **стронцианит** SrCO3. В магматических породах стронция находится преимущественно в рассеянном виде и входит в виде изоморфной примеси в кристаллическую решётку кальциевых, калиевых и бариевых минералов. В биосфере стронция накапливается в карбонатных породах и особенно в осадках солёных озёр и лагун (месторождения целестина).

**Физические и химические свойства.** При комнатной температуре решётка стронция кубическая гранецентрированная (a-Sr) с периодом *а* = 6,0848 ; при температуре выше 248°C превращается в гексагональную модификацию (b-Sr) с периодами решётки *а*=4,32 и *с*= 7,06 ; при 614°C переходит в кубическую объёмно-центрированную модификацию (g-Sr) с периодом *а* = 4,85 . Атомный радиус 2,15 , ионный радиус *Sr2* + 1,20. Плотность a*-* формы *2,63г/см3* (20 °C); *tпл* 770 °C, *tkип* 1383 °C; удельная теплоёмкость 737,4*кдж/*(*кг-*К) [0,176 *кал/*(*г-*°C)]; удельное электросопротивление 22.76-10-6*ом-см*3 стронция парамагнитен, атомная магнитная восприимчивость при комнатной температуре 91,2-10-6. Стронция - мягкий пластичный металл, легко режется ножом. Конфигурация внешней электронной оболочки атома Sr *5s2,* в соединениях обычно имеет степень окисления +2. С. - щёлочноземельный металл, по химическим свойствам сходен с Ca и Ba. Металлический стронция быстро окисляется на воздухе, образуя желтоватую поверхностную плёнку, содержащую окись SrO, перекись SrO2 и нитрид Sr3N2. С кислородом при обычных условиях образует окись SrO (серовато-белый порошок), которая на воздухе легко переходит в карбонат SrCO3: с водой энергично взаимодействует, образуя гидроокись Sr (OH)2 - основание более сильное, чем Ca (OH)2. При нагревании на воздухе легко воспламеняется, а порошкообразный стронция на воздухе самовозгорается, поэтому хранят стронция в герметически закрытых сосудах под слоем керосина. Бурно разлагает воду с выделением водорода и образованием гидроокиси. При повышенных температурах взаимодействует с водородом (>200°C), азотом (>400°C), фосфором, серой и галогенами. При нагревании образует интерметаллические соединения с металлами, например SrPb3, SrAg4, SrHg8, SrHg12. Из солей стронция хорошо растворимы в воде галогениды (кроме фторида), нитрат, ацетат, хлорат; трудно растворимы карбонат, сульфат, оксалат и фосфат. Осаждение стронция в виде оксалата и сульфата используют для его аналитического определения. Многие соли стронция образуют кристаллогидраты, содержащие от 1 до 6 молекул кристаллизационной воды. Сульфид SrS постепенно гидролизуется водой: нитрид Sr3N2 (чёрные кристаллы) легко разлагается водой с выделением NH3 и Sr (OH)2. стронция хорошо растворяется в жидком аммиаке, давая растворы тёмно-синего цвета.

**Получение и применение.** Основным сырьём для получения соединений стронция служат концентраты от обогащения целестина и стронцианита. Металлический стронция получают восстановлением окиси стронция алюминием при 1100-1150 °C:

4SrO + 2AI = 3Sr + SrO-Al2O3.

Процесс ведут в электровакуумных аппаратах [при 1 *н/м2* (10 -2*мм рт. ст.*)]периодического действия. Пары стронция конденсируются на охлажденной поверхности вставленного в аппарат конденсатора; по окончании восстановления аппарат заполняют аргоном и расплавляют конденсат, который стекает в изложницу. Стронций получают также электролизом расплава, содержащего 85% SrCl2 и 15% KCI, однако при этом процессе выход по току невелик, а металл оказывается загрязнённым солями, нитридом и окисью. В промышленности электролизом с жидким катодом получают сплавы стронция, например с оловом.

Практическое применение металлического стронция невелико. Он служит для раскисления меди и бронзы. -90Sr - источник b-излучения в атомных электрических батареях. С. используется для изготовления люминофоров и фотоэлементов, а также сильно пирофорных сплавов. Окись стронция входит в состав некоторых оптических стекол и оксидных катодов электронных ламп. Соединения стронция окрашивают пламя в интенсивный вишнёво-красный цвет, благодаря чему некоторые из них находят применение в пиротехнике. Стронцианит вводят в шлак для очистки высокосортных сталей от серы и фосфора; карбонат стронция используют в неиспаряющихся **геттерах**, а также добавляют в состав стойких к атмосферным воздействиям глазурей и эмалей для покрытия фарфора, сталей и жаропрочных сплавов. Хромат SrCrO4 - очень устойчивый пигмент для изготовления художественных красок, титанат SrTiO3 применяют как сегнетоэлектрик, он входит в состав пьезокерамики. Стронциевые соли жирных кислот ("стронциевые мыла") используют для изготовления специальных консистентных смазок.

Соли и соединения стронция малотоксичны; при работе с ними следует руководствоваться правилами техники безопасности с солями щелочных и щёлочноземельных металлов.

**Стронций в организме.** Стронций - составная часть микроорганизмов, растений и животных. У морских радиолярий (акантарий) скелет состоит из сульфата стронция - целестина. Морские водоросли содержат 26-140 *мг* С. на 100 *г* сухого вещества, наземные растения - 2,6, морские животные - 2-50, наземные животные - 1,4, бактерии - 0,27-30. Накопление стронция различными организмами зависит не только от их вида, особенностей, но и от соотношения в среде стронция с др. элементами, главным образом с Ca и Р, а также от адаптации организмов к определённой геохимической среде.

Животные получают стронций с водой и пищей. Всасывается стронция тонким, а выделяется в основном толстым кишечником. Ряд веществ (полисахариды водорослей, катионообменные смолы) препятствует усвоению стронция. Главное депо стронция в организме - костная ткань, в золе которой содержится около 0,02% С. (в др. тканях - около 0,0005%). Избыток солей стронция в рационе крыс вызывает "стронциевый" рахит. У животных, обитающих на почвах со значительным количеством целестина, наблюдается повышенное содержание стронция в организме, что приводит к ломкости костей, рахиту и др. заболеваниям. В биогеохимических провинциях, богатых стронция (ряд районов Центральной и Восточной Азии, Северной Европы и др.), возможна т. н. **уровская болезнь**.

**Стронций-90.** Среди искусственных изотопов стронция его долгоживущий радионуклид 90Sr - один из важных компонентов радиоактивного загрязнения биосферы. Попадая в окружающую среду, 90Sr характеризуется способностью включаться (главным образом вместе с Ca) в процессы обмена веществ у растений, животных и человека. Поэтому при оценке загрязнения биосферы 90Sr принято рассчитывать отношение 90Sr/Ca в стронциевых единицах (1 с. е. = 1 мк *мккюри*90Sr на 1 *г* Ca). При передвижении 90Sr и Ca по биологическим и пищевым цепям происходит дискриминация С., для количественного выражения которой находят "коэффициент дискриминации", отношение 90Sr/Ca в последующем звене биологической или пищевой цепи к этой же величине в предыдущем звене. В конечном звене пищевой цепи концентрация 90Sr, как правило, значительно меньше, чем в начальном.

В растения *90Sr* может поступать непосредственно при прямом загрязнении листьев или из почвы через корни (при этом большое влияние имеет тип почвы, сё влажность, pH, содержание Ca и органических веществ и т.д.). Относительно больше накапливают 90Sr бобовые растения, корне- и клубнеплоды, меньше - злаки, в том числе зерновые, и лён. В семенах и плодах накапливается значительно меньше 90Sr, чем в др. органах (например, в листьях и стеблях пшеницы 90Sr в 10 раз больше, чем в зерне). У животных (поступает в основном с растительной пищей) и человека (поступает в основном с коровьим молоком и рыбой) 90*Sr* накапливается главным образом в костях. Величина отложения 90*Sr* в организме животных и человека зависит от возраста особи, количества поступающего радионуклида, интенсивности роста новой костной ткани и др. Большую опасность 90Sr представляет для детей, в организм которых он поступает с молоком и накапливается в быстро растущей костной ткани.

Биологическое действие 90Sr связано с характером его распределения в организме (накопление в скелете) и зависит от дозы b-облучения, создаваемого им и его дочерним радиоизотопом *90Y.* При длительном поступлении 90*Sr* в организм даже в относительно небольших количествах, в результате непрерывного облучения костной ткани, могут развиваться лейкемия и рак костей. Существенные изменения в костной ткани наблюдаются при содержании *" Sr* в рационе около 1 *мккюри* на 1 *г* Ca. Заключение в 1963 в Москве Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космосе и под водой привело к почти полному освобождению атмосферы от *90Sr* и уменьшению его подвижных форм в почве.

**Источники радиоактивного стронция.** Основным источником загрязнения внешней среды радиоактивным стронцием были испытания ядерного оружия и аварии на предприятиях топливно-ядерного цикла. Атмосфера — первичный резервуар 89Sr и 90Sr, откуда радионуклиды поступают на сушу и в гидросферу. Осаждение определяется гравитацией, адсорбцией на нейтральной пыли, постоянно присутствующей в атмосфере, и удалением атмосферными осадками (дождем, снегом). Время пребывания радиоактивных аэрозолей в атмосфере составляет 30–40 суток, в стратосфере — несколько лет. Вследствие различных периодов полураспада соотношение 89Sr, 90Sr в выпадениях постоянно меняется. В начальный период после взрыва в выпадениях преобладает 89Sr , а затем 90Sr , поскольку отношение активности 89Sr, 90Sr в начальный период равно 150. В начальный период 89Sr является одним из компонентов загрязнения внешней среды в зонах ближних выпадений радионуклидов. Суммарное количество 89Sr , поступившего в атмосферу, оценивается в 90 ЭБк, а 90Sr в 600 ПБк. В эти величины не входит стронций локальных выпадений. Наблюдалась отчетливо выраженная зональность выпадений, зависящих от особенностей атмосферных течений. За период 1961–1969 гг. в умеренных широтах Северного полушария плотность выпадения 89Sr составила 1.3 · 104Бк/м2, а 90Sr за период 1951–1980 гг. примерно 2.1 · 104Бк/м2. Источником загрязнения внешней среды, как было отмечено, были и остаются предприятия атомной энергетики. В условиях нормальной эксплуатации АЭС выбросы радионуклидов незначительны. В основном они обусловлены газообразными радионуклидами (РБГ, 14С, тритием и йодом). В условиях аварий, особенно крупных, выбросы радионуклидов, в том числе радиоизотопов стронция, могут быть значительными. Примером являются известные аварии на промышленном реакторе в Уиндскейле (1957г.) и ЧАЭС (1986г.). В Уиндскейле произошел пожар и выброс и составил соответственно 29.6 · 1011 и 33.3 · 1010Бк. На ЧАЭС в разрушенном реакторе по оценкам могло накопиться 22.6·1016Бк и 233.1·1016Бк. Выброс мог составить 4 и 3 % накопленной в реакторе активности. В 1957г. в результате нарушения режима хранения РАО в ПО "Маяк" произошел взрыв емкости, где хранились радионуклиды в количестве 74 · 1016Бк. При взрыве 74 · 1015Бк (10 %) активности в виде жидкой пульпы было поднято взрывом на высоту до 1км. В выброшенной активности на долю 89Sr и 90Sr пришлось 2.2 и 2.5 %, которые обусловили длительное загрязнение больших территорий ряда областей Южного Урала. Образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). В начальный период работы ПО "Маяк" в результате сброса 1017Бк РАО в реку Теча произошло загрязнение ее поймы. В сбросах содержались радиоизотопы цезия, стронция и редкоземельных элементов. Оценивая опасность загрязнения внешней среды радиоактивным стронцием, следует кратко остановиться на его миграции в природных средах. Выпавший на поверхность Земли радиоактивный стронций включается под влиянием природных факторов в процессы миграции. После атмосферы почва становится его важнейшим депо. Радионуклиды мигрируют в горизонтальном и вертикальном направлениях. На их миграцию существенное влияние оказывают их физико-химические свойства, климатические условия, рельеф местности, вид почвы, гидрологический режим, характер растительности, агрохимические особенности ведения сельского хозяйства и др. 90Sr. В глобальных выпадениях 90Sr практически водорастворим и в почве находится в подвижной форме, что имеет принципиальное значение в процессах его миграции. Кратко остановимся лишь на некоторых вопросах миграции радио-стронция в биоценозах, поскольку пища растительного и животного происхождения является основным источником его поступления населению. В процессе миграции радионуклидов по пищевым цепочкам: растения → человек, растения → животные → человек, вода → гидробионты → человек обычно происходит их дискриминация, т.е. изменение содержания в звеньях.

**Ядерно-физические свойства**

**основных радиоактивных изотопов стронция**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Радионуклид | Т1/2 | Тип распада | Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с) | | Дочерний  нуклид(выход) |
| характеристическое, γ- и аннигиляционное  излучение | β-излучение, конверсионные  электроны и  электроны Оже |
| 80Sr | 100 мин. | ЗЭ | 8.00 · 10−3 | 5.46 · 10−3 | 80Rb, радиоакт. |
| 81Sr | 25.5 мин. | ЗЭ, β+ | 1.38 | 9.96 · 10−1 | 81Rb, радиоакт. |
| 82Sr | 25 сут. | ЗЭ | 7.87 · 10−3 | 5.40 · 10−3 | 82Rb, радиоакт |
| 83Sr | 32.4 час. | ЗЭ, β+ | 7.79 · 10−1 | 1.49 · 10−1 | 83 Rb, радиоакт. |
| 85mSr | 69.5 мин. | ЗЭ, ИП | 2.19 · 10−1 | 1.22 · 10−2 | 85Sr, радиоакт. (0.879)  85Rb стаб. |
| 85Sr | 64.84 сут. | ЗЭ | 5.11 · 10−1 | 8.97 · 10−3 | 85Rb стаб. |
| 87mSr | 2.805 час. | ЗЭ, ИП | 3.20 · 10−1 | 6.69 · 10−2 | 87Rb радиоакт.  (3 · 10−3)  87Sr стаб. (0.997) |
| 89Sr | 50.5 сут. | β− | 8.45 · 10−5 | 5.83 · 10−1 | 89Y стаб. |
| 90Sr | 29.12 лет | β− | — | 1.96 · 10−1 | 90Y радиоакт. |
| 91Sr | 9.5 час. | β− | 6.93 · 10−1 | 6.55 · 10−1 | 91mY радиоакт.  (0.578)  91Y радиоакт.  (0.422) |
| 92Sr | 2.71 час. | β− | 1.34 | 1.96 · 10−1 | 92 Y радиоакт. |

**Таблица 2**

Почва → растения — начальное звено большинства пищевых цепочек экологического цикла переноса радиостронция из внешней среды человеку. В растения радионуклиды могут поступать в результате непосредственного загрязнения наземных их частей в момент выпадения, пылеобразования и поглощения из почвы через корневую систему. Задержка радиоаэрозолей определяется их дисперсностью и видовыми особенностями растений. Коэффициент задержки глобального радиостронция может достигать 25 %. Радиоактивные частицы с растений смываются дождем, сдуваются ветром и т.д. Время их удержания зависит от размера и вида растений. Для умеренного пояса оно составляет 1–5 недель, в среднем 2 недели. Осевший на растения радиостронций всасывается в результате активных биологических процессов. Интенсивность всасывания зависит от растворимости частиц и вида растений и может достигать нескольких процентов.

Усвоение радиостронция из почвы определяется его биологической доступностью и прежде всего растворимостью, агрохимическими свойствами почвы, видом растений. Особое значение имеет содержание в почве обменного кальция. При оценке уровней загрязнения используют отношение 90Sr : Ca, выраженное в стронциевых единицах (1 СЕ =10 ÷ 12 Ки 90Sr на 1г Ca). Накопление достигает 300 ÷ 1000 пКи на 1 мКи/м2. В больших количествах стронций накапливается в бобовых, корнеплодах, и в меньшей мере (в 3–7 раз) в злаковых.

Животным радиоактивный стронций в основном поступает с кормом и в меньшей степени с водой (около 2 %). Переход нуклида зависит от его биологической доступности, видовых и возрастных особенностей животных и их физиологического состояния. У молодых животных всасываемость стронция выше. В возрасте нескольких дней она практически достигает 100 %, что связано с высокой проницаемостью стенок кишечника. С увеличением возраста всасываемость снижается. Так у взрослых животных крупного рогатого скота, овец, коз, свиней, кур всасываемость оценивается в 6÷16; 7÷10; 3÷14; 14; 50÷80 % соответственно. Максимальная концентрация нуклида в крови регистрировалась у коров, коз и свиней через 12–24; 12 и 6–12 ч. соответственно после поступления стронция в организм. В крови стронций циркулирует в некомплексной форме и лабильно связан с белками.

Стронций относится к типичным остеотропным радионуклидам. По величине отложения нуклида в скелете сельскохозяйственных животных можно расположить в ряд: крупный рогатый скот < козы < овцы < свиньи < куры. Из костной ткани стронций выводится медленно. У молодых животных нуклид выводится значительно быстрее, чем у взрослых.

Увеличение содержания кальция в корме ускоряет выведение. Помимо скелета наибольшая концентрация отмечена в печени и почках, минимальная — в мышцах и особенно в жире, где концентрация в 4–6 раз меньшая, чем в других мягких тканях.

В условиях хронического поступления стронция животным, что имеет практическое значение, кратность накопления (содержание нуклида в организме по сравнению с ежедневным поступлением) зависит от возраста животных и равна 10 ÷ 20. Содержание стронция в период равновесного состояния в 1кг мышц коров, овец, коз, свиней и кур достигает 4, 8, 20, 26 и 45 % суточного поступления. Содержание стронция при

хроническом поступлении у взрослых коров, овец, коз, свиней и кур составляло в скелете: 6; 950; 770; 220 и 16; мышцах: 3; 0.2; 0.4; 0.2 и 0.3; других органах: 0.4÷0.6; 0.3÷0.6; 0.2÷0.6; 0.2÷0.3 и 0.2÷0.8 % суточного поступления.

**Ожидаемые дозы за счет**

**перорального поступления 90Sr**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Район | Ожидаемая доза  (10−4Гр) | | Ожидаемая  коллективная доза  (105 чел.·Гр) | |
| Костный мозг | Клетки, выстилающие костные поверхности | Костный мозг | Клетки, выстилающие костные поверхности |
| Весь  земной шар | 5.7 | 13 | 23 | 50 |
| Северное полушарие | 6.2 | 14 | 22 | 49 |
| Южное полушарие | 1.6 | 3.4 | 0.7 | 1.5 |
| Умеренная  зона Северного  полушария(40-50◦) | 9.4 | 21 | 5.2 | 11 |
| Умеренная  зона Южного  полушария (40–50◦) | 2.6 | 5.7 | 0.01 | 0.02 |

**Таблица 3**

У лактирующих животных стронций в значительных количествах выводится с молоком. Суточное выведение у коров разной продуктивности достигает 0.2 ÷ 5 %, у коз 1.3 %, овец 1 ÷ 6 % в 1 литре от суточного поступления. Из глобальных выпадений содержание 90Sr в молоке колеблется от 0.3÷0.8 % в 1л суточного поступления. Переход 90Sr из корма в молоко коров оценивается в 0.1 % на 1л удоя, а при хроническом поступлении нуклида в 0.2 ÷ 0.3 % в 1 литре. Переход 90Sr из рациона в яйцо не превышает 40 % суточного поступления радионуклида, а у низкопродуктивных кур может достигать 60 %. Содержание стронция в скорлупе достигает 96 %, в желтке и белке содержится соответственно 3.5 и 0.2 %.

Содержание стронция в гидробионтах зависит от концентрации нуклида в воде и степени ее минерализации. Так у рыб Балтийского моря содержание стронция в 5 раз больше, чем у рыб Атлантического океана. Коэффициент накопления достигает 10 ÷ 100, в основном стронций депонируется в скелете.

Радиоактивный стронций относится к остеотропным биологически опасным радионуклидам. Как чистый бета-излучатель основную опасность он представляет при поступлении в организм. В таблице 4 на с. 15 для сравнение приведена токсичность 89Sr , 90Sr и других биологически значимых α- и β-излучающих радионуклидов. Населению нуклид в основном поступает с загрязненными продуктами. Ингаляционный путь имеет меньшее значение. Не исключается поступление нуклида через раневые и ожоговые поверхности. Растворимые соединения стронция хорошо всасываются в кишечнике. Резорбция зависит от возраста человека, физиологического состояния, характера питания и особенно содержания в рационе кальция. Она колеблется от 10 до 60 %. В больших количествах стронций всасывается у детей. Для взрослого человека МКРЗ рекомендует величину всасывания равной 30 %. Радиостронций избирательно откладывается в костях, особенно у детей, подвергая кости и заключенный в них костный мозг постоянному облучению. В костях стронций накапливается неравномерно. В эпифизе и метафазе первоначальная концентрация нуклида примерно в 2.5 раза выше, чем в диафизе. В других органах и тканях стронций депонируется в значительно меньших количествах.

Выводится стронций из организма в основном через кишечник. Кинетику выведения можно описать суммой трех экспонент: 73, 10 и 17 % с периодом соответственно 3, 44 и 4000 суток. Быстро выводящиеся компонент отражает выведение нуклида из мягких тканей, медленно выводящий — из скелета.

Биологическое действие радиоактивного стронция многообразно и связано с распределением поступившего в организм нуклида и формируемых доз. При поступлении равных количеств 89Sr и 90Sr величины поглощенных доз и время их формирования различны, что связано с большим периодом полураспада 90Sr и высокой β-энергией его дочернего нуклида 90Y (Еβ = 2.26 МэВ). При поступлении 89Sr доза формируется в течение сравнительно короткого времени, а при поступлении 90Sr в течение многих лет. Дозовые коэффициенты Е для 89Sr и 90Sr равны соответственно для быстро выводящей фракции 1.0 ÷ 9 и 2.4 ÷ 9 Зв/Бк и для медленно выводящей — 7.5÷9 и 1.5÷7 Зв/Бк. Спустя 1 год доза от стронция 90Sr в десять раз большая, а через 20 лет в 150 раз, чем от 89Sr .

Биологическое действие радиоактивного стронция исследовали на многих видах животных. Практический интерес представляют опыты на собаках, поскольку радиочувствительность их примерно такая же, как и у человека. При поступлении в организм остроэффективных количеств развивалась картина острого лучевого поражения с типичными гематологическими нарушениями. Острые поражения у собак развивались при поступлении 3.7 ÷ 11.1 · 107

Бк/кг массы тела. При поступлении радиостронция в 100 раз меньших количествах наблюдали хроническое лучевое поражение с соответствующими гематологическими нарушениями, развитием лейкозов и костных опухолей в отдаленные сроки.

Особый практический интерес представляет хроническое поступление радиостронция животным. В опытах на собаках, получавших в течение 2–3 лет ежедневно 90Sr в количествах 3.7 · 103Бк/кг массы тела развивалось хроническое поражение с индукцией лейкозов и остеосарком. При введении 7.4 · 102 Бк/кг ежедневно в течение 2–3.5 лет регистрировали увеличение в 3–5 раз числа доброкачественных и злокачественных опухолей, в том числе в эндокринных органах и молочных железах. У потомства отмечена пониженная жизнеспособность. Следует отметить трудоемкие исследования на крысах. Животные в течение всей жизни ежедневно получали 90Sr в количестве 5, 4, 2, 1, 0.5; 0.05,

0.005, 0.0005, 0.00005 мк Ки на крысу. Начальные изменения костных структур к концу их жизни выявлены у животных, получавших ежедневно по 0.05 мк Ки стронция. Минимальное ежедневно вводимое количество, которое способствовало развитию сосудистых, воспалительных, дистрофических, новообразовательных процессов и снижало продолжительность жизни животных, составляло 0.5 мк Ки 90Sr . Максимальная величина поглощенной дозы, приводящая к снижению числа ядросодержащих клеток в костном мозге, соответствовала 10 Гр, а минимальная бластомогенная доза — 40 Гр. Продолжительность жизни снижается при дозах свыше 40 Гр. Из приведенных данных следует, что у собак и крыс патологические нарушения регистрировались при достаточно больших дозах.

Радиоактивный стронций (89Sr и 90Sr) относится к биологически значимым радионуклидам и характеризуется высокой токсичностью. Его доля в глобальном радиоактивном загрязнении внешней среды и облучении населения значительна. Облучение носит хронический комбинированный характер. Дозы облучения в подавляющем большинстве случаев можно отнести к категории малых с низкой мощностью дозы. Об опасности облучения в таких дозах существуют противоречивые суждения. МКРЗ, НКДАР при ООН, НКРЗ РФ считают, что облучение в любой дозе отличной от нуля (даже при повреждении всего одной клетки) может в отдаленные сроки проявиться в форме стохастических эффектов — злокачественных новообразований и генетических нарушений. Численное значение их крайне мало. По мере увеличения тканевых доз повреждается все больше клеток и увеличивается вероятность появления

стохастических эффектов. Такой подход к оценке малых доз ионизирующих излучений остается лишь гипотезой. Прямые доказательства ее отсутствуют. Напротив, имеются данные, что и для стохастических эффектов существует порог, что соответствует общебиологическим законам природы. В организме в процессе эволюции выработались и генетически закрепились системы защиты, обеспечивающие гомеостаз организма. Вредное действие различных агентов, в том числе ионизирующих излучений, начинает проявляться после превышения порога. Для детерминированных эффектов порог установлен. Установление величины порога для стохастических эффектов имеет важное практическое значение, было и остается одной из наиболее актуальных проблем радиобиологии.

**Использование радиоактивных изотопов в качестве индикатора «меченых» атомов.**

Изотопные индикаторы **–**вещества, имеющие отличный от природного изотопный состав и благодаря этому используемые в качестве метки при изучении самых разнообразных процессов. Роль изотопной метки выполняют стабильные или радиоактивные изотопы хим. элементов, которые легко могут быть обнаружены и определены количественно. Высокая чувствительность и специфичность изотопных индикаторов позволяют проследить за ними в сложных процессах перемещения, распределения и превращения веществ в сколь угодно сложных системах, в т. ч. и в живых организмах.

Метод изотопных индикаторов (методом меченых атомов) был впервые предложен Д. Хевеши и Ф.Пакетом в 1913. Широкое использование изотопных индикаторов стало возможным благодаря развитию ядерной техники, позволившей получать изотопы в массовом масштабе.

Метод изотопных индикаторов основан на том, что хим. свойства разных изотопов одного элемента почти одинаковы (благодаря чему поведение меченых атомов в изучаемых процессах практически не отличается от поведения др. атомов того же элемента), и на лёгкости обнаружения изотопов, особенно радиоактивных. При использовании метода необходим учёт возможных реакций изотопного обмена, приводящих к перераспределению меченых атомов (следовательно, к потере соединением метки), а иногда и учёт радиационных эффектов, связанных с влиянием радиоактивных излучений на ход процесса. Изотоп, используемый в качестве метки, вводится в состав изучаемых соединений. Могут быть использованы как стабильные, так и радиоактивные изотопы.

Преимущество стабильных изотопов - их устойчивость и отсутствие ядерных излучений. Однако только небольшое число элементов имеет подходящие стабильные изотопы. Малая доступность последних и сравнительно сложная техника обнаружения составляют недостатки метода изотопных индикаторов с применением стабильных изотопов. Преимущество радиоактивных изотопов - возможность их получения практически для всех элементов периодичной системы, высокая чувствительность, специфичность и точность определения, простота и доступность измерительной аппаратуры. Поэтому большинство исследований, использующих метод изотопных индикаторов, выполнено с радиоактивными изотопами.

Такие элементы, как водород, углерод, сера, хлор, свинец, имеют удобные для использования как стабильные - 2H, 13C, 34S, 35Cl, 37Cl, 204Pb, так и радиоактивные изотопы - 3H, 11C, 14C, 35S**,**36Cl, 212Pb. В качестве изотопов азота и кислорода чаще всего применяются стабильные 15N и 18O и др. Стабильные изотопные индикаторы получают обогащением природных изотопных смесей путём многократного повторения операции разделения (перегонка, диффузия, термодиффузия, изотопный обмен, электролиз), а также на масс-пектрометричный установках и при ядерных реакциях.

Для элементов, существующих в природе в виде одного изотопа (Be, F, Na, Al, P, I), в качестве меченых атомов используют только искусств, радиоактивные изотопы; примером часто применяемых радиоактивных изотопов служат 3H, 14C, 32P, 33S, 45Ca, 51Cr, 59Fe, 60Co, 89Sr, 95Zr, 93Nb, 110Ag, 131I и др. Выбор радиоактивного изотопа определяется его ядерными характеристиками - периодом полураспада,типом и энергией излучения. Для индикации пригодны радиоактивные изотопы, период полураспада к-рых не очень мал, что позволяет работать в течение времени, необходимого для эксперимента, но и не очень велик, что даёт возможность работать с весьма малыми количествами индикатора.

Основные методом анализа стабильных изотопов служит масс-спектрометрия (чувствительность 10 -4 % изотопа при точности 0,1-1% для проб массой в доли мг). Всё большее применение находят спектральные методы и парамагнитный резонанс. Дейтерий, 18 O и некоторые др. изотопы определяют по изменению показателя преломления, теплопроводности, плотности, как самого элементарного вещества, так и его соединений. Радиоактивные изотопы определяют по их излучению при помощи счётчиков Гейгера или сцинтил-ляционных счётчиков. Так, с помощью счётчика Гейгера можно уловить излучение 10 -11 г углерода 14C, 10 -16 г фосфора 32P и йода 131I, 10- 1а г углерода 11C и т. д. Современные жидкостные сцинтилляционные счётчики позволяют с высокой эффективностью и точностью проводить определение изотопов с мягким бета-излучением (3H, 14C, 35S и др.). Введение в практику этого метода изотопного анализа повышает его производительность и позволяет работать с незначительными активностями, приближающимися к активности космического фона.

Широкое применение в биологии получил метод авторадиографии. При работе с радиоактивными изотопами необходимо соблюдать правила техники безопасности в соответствии с существующими нормами.

Известны различные способы синтеза меченых соединений. Наряду с обычным хим. синтезом используются реакции изотопного обмена и биол. синтез. В большинстве случаев изотопная метка занимает определённое положение в молекуле; напр., пропионовую кислоту можно пометить по углероду тремя способами:



Имеются  три основные направления использования изотопных индикаторов. Методом изотопных индикаторов изучают характер распределения веществ и пути их перемещения. И зотопные индикаторы вводят в ту или иную систему и через определённые промежутки времени устанавливают наличие изотопных индикаторов.

В различных частях системы. Наиболее наглядные картины распределения получаются без разрушения образца при помощи радиоавтограмм.

Другие направление использования изотопных индикаторов – количественный анализ. Один из самых простых и распространённых вариантов метода изотопных индикаторов - метод изотопного разбавления, при котором к анализируемому веществу добавляют дозированное количество изотопных индикаторов и по степени его разбавления судят об исходном количестве вещества. Этот метод позволяет производить определение ничтожно малых количеств трудноопределяемых веществ и, наоборот, больших масс веществ; анализировать сложные смеси, анализ и разделение которых др. методами невозможны. Широкими возможностями отличается примыкающий к методу изотопных индикаторов активационпый анализ, где меткой служит изотоп другого элемента, образованный из данного в результате ядерной реакция. Особенно большое значение этот метод имеет при определении микроэлементов в металлах, сплавах, минералах, тканях, при быстром контроле технология, процессов. Количеств, анализ природных изотопов, входящих в естественные радиоактивные ряды урана и тория, а также количественное определение изотопа 14C в умерших организмах позволяют определять возраст горных пород и археология, находок.

Третьим направлением использования изотопных индикаторов является выяснение механизма различных процессов и изучение строения хим. соединений. Введение изотопной метки в определённое положение молекулы устраняет хим. неразличимость атомов, допуская возможность однозначного выяснения механизма тех или иных реакций, для которых обычные хим. методы описывают только начальное и конечное состояния.

Все указанные направления применения изотопных индикаторов широко представлены в различных областях химии, биологии, медицины, техники, сельского хозяйства и т. д. Ниже приводятся отдельные примеры их использования.

**Изотопные индикаторы в биологии**. В биологии изотопные индикаторы применяют для решения как фундаментальных, так и прикладных биологических проблем, изучение которых др. методами затруднено или невозможно. Существенное для биологии преимущество метода меченых атомов состоит в том, что использование изотопных индикаторов не нарушает целостности организма и его основные жизненных отправлений. С применением изотопных индикаторов связаны многие крупные достижения современной биологии, определившие расцвет биологических наук во 2-й пол. 20 в. С помощью стабильных и радиоактивных изотопов водорода ( 2H и 3H), углерода ( 13C и 14C), азота ( 15N), кислорода ( 18O), фосфора ( 32P), серы ( 35S), железа ( 59Fe), иода ( 131I) и др. были выяснены и детально изучены сложные и взаимосвязанные процессы биосинтеза и распада белков, нуклеиновых кислот, углеводов, жиров и др. биологически активных соединений, а также хим. механизмы их превращений в живой клетке. Применение изотопных индикаторов привело к пересмотру прежних представлений о природе фотосинтеза, а также о механизмах, обеспечивающих усвоение растениями неорганических веществ - карбонатов, нитратов, фосфатов и др.

С помощью изотопных индикаторов выполнено огромное число исследований в самых разнообразных направлениях биологии и биохимии. Одно из направлений включает работы по изучению динамики и путей перемещения популяций в биосфере и отд. особей внутри данной популяции, миграции микробов, а также отд. соединений внутри организма. Вводя в организмы с пищей или путём инъекций метку, удалось изучить скорость и пути миграции мн. насекомых (москитов, мух, саранчи), птиц, грызунов и др. мелких животных и получить данные о численности их популяций. В области физиологии и биохимии растений с помощью изотопных индикаторов решён ряд теоретических и прикладных проблем: выяснены пути поступления минеральных веществ, жидкостей и газов в растения, а также роль различных хим. элементов, в т. ч. микроэлементов, в жизни растений (рис. 7). Показано, в частности, что углерод поступает в растения не только через листья, но и через корневую систему, установлены пути и скорости передвижения ряда веществ из корневой системы в стебель и листья и из этих органов к корням. В области физиологии и биохимии животных и человека изучены скорости поступления различных веществ в их ткани (в т. ч. скорость включения железа в гемоглобин, фосфора - в нервную и мышечные ткани, кальция - в кости).

Важная группа работ охватывает исследования механизмов хим. реакций в организме. Так, во многих случаях удалось установить связь между исходными и вновь образующимися молекулами, проследить за "судьбой" отдельных атомов и хим. групп в процессах обмена веществ**,**а также выяснить последовательность и скорость этих превращений. Полученные данные сыграли решающую роль при построении современных схем биосинтеза и метаболизма (метаболических карт), путей превращения пищи, лекарственных препаратов и ядов в живых организмах. К работам этой группы относится выяснение вопроса о происхождении кислорода, выделяемого в процессе фотосинтеза: оказалось, что его источником является вода, а не двуокись углерода. С др. стороны, применение 14CO2 позволило выяснить пути превращений двуокиси углерода в процессе фотосинтеза. Использование "меченой" пищи привело к новому представлению о скоростях всасывания и распространения пищевых веществ, об их "судьбе" в организме и помогло проследить за влиянием внутренних и внешних факторов (голодание, асфиксия, переутомление и т. д.) на обмен веществ. Метод изотопных индикаторов позволил изучить процессы обратимого транспорта веществ через биологические мембраны. Было показано, что концентрации веществ по обе стороны мембраны остаются постоянными с сохранением градиентов концентрации, характерных для каждой из разделённых мембранами сред.

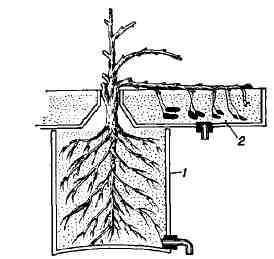


Рис. 7. Схема опыта по изучению поглощения радиоактивных изотопов раздельно корнями и плодами арахиса: 1 - среда для корней; 2 - среда для плодов.

Метод изотопных индикаторов нашёл применение в исследовании процессов, решающую роль в которых играет передача информации в организме (проводимость нервных импульсов, инициация и рецепция раздражения и др.). Эффективность метода изотопных индикаторов в работах этого рода обусловлена тем, что исследования проводятся на целостных, интактных организмах, сохраняющих неповреждённой всю сложную систему нервных и гуморальных связей. Наконец, группа работ включает исследования статических характеристик биол. структур, начиная с молекулярного уровня (белки, нуклеиновые кислоты) и кончая надмолекулярными структурами (рибосомы, хромосомы и др. органел-лы). Например, исследования относительной устойчивости белков и нуклеиновых кислот в 1H2O, 2H2O и в H218O способствовали выяснению природы сил, стабилизирующих структуру биополимеров, в частности роли водородных связей в биологических системах.

Важное значение при выборе изотопа имеет вопрос о чувствительности метода изотопного анализа, а также о типе радиоактивного распада и энергии излучения. Преимущество стабильных изотопов (2H, 18O, 15N и др.) - отсутствие излучений, часто оказывающих побочное воздействие на исследуемую живую систему. В то же время, сравнительно низкая чувствительность методов их определений (масс-спектроскопия, денситометрия), а также необходимость выделения меченого соединения ограничивают применение стабильных изотопов в биологии. Высокая чувствительность регистрации гамма-активных изотопов (59Fe, 131I и др.) позволила в живом организме измерить скорость кроветока, определить кол-во крови и время её полного кругооборота, исследовать работу желез внутренней секреции.

**Изотопные индикаторы в медицине**. С помощью изотопных индикаторов были раскрыты механизмы развития (патогенез) ряда заболеваний; их применяют также для изучения обмена веществ и диагностики многих заболеваний изотопные индикаторы вводят в организм в крайне малых количествах, не способных вызвать клеточный патологический сдвиги. Различные элементы неравномерно распределяются в организме. Аналогично им распределяются и изотопные индикаторы. Излучение, возникающее при распаде изотопа, регистрируют радиометрическими приборами, сканированием, авторадиографией и др. Так, состояние большого и малого круга кровообращения, сердечного кровообращения, скорости кровотока, изображение полостей сердца определяют с помощью соединений, включающих 24Na, 131I, 99мТс; для изучения лёгочной вентиляции и заболеваний спинного мозга применяют 99мTc, 133Xe; макроагрегаты альбумина человеческой сыворотки с 131I используют для диагностики различных воспалительных процессов в лёгких, их опухолей и при различных заболеваниях щитовидной железы. Концентрационную и выделительную функции печени изучают при помощи краски бен-гал-роз с 131I, 198Au; функцию почек - при ренографии с 13Ч-гиппураном и сканированием после введения неогидрина, меченого 203Hg или 89мТс. Изображение кишечника, желудка получают, используя 99mTc, селезёнки - применяя эритроциты с 99mTc или 51Cr; с помощью 75Se диагностируют заболевания поджелудочной железы. Диагностическое применение имеют также 85Sr и 34P.

**Изотопные индикаторы** **в сельском хозяйстве** ( 3H, 14C, 22Na, 32P, 35S, 42К, 43Ca, 60Co, 65Zn, 99Mo и др.) широко используются для определения физических свойств почвы и запасов в ней элементов пищи растений, для изучения взаимодействия почвы и удобрений, процессов усвоения растениями питательных элементов из минеральных туков, поступления в растения минеральной пищи через листья и др. вопросов почвоведения и агрохимии. Пользуются изотопных индикаторов для выявления действия на растительный организм пестицидов, в частности гербицидов, что позволяет установить концентрацию и сроки обработки ими посевов. Применяя метод изотопных индикаторов, исследуют важнейшие биологических свойства сельскохозяйственных культур (при оценке и отборе селекционного материала) - урожайность, скороспелость, хладостойкость. В животноводстве изучают физиологические процессы, протекающие в организме животных, проводят анализ кормов на содержание токсических веществ (малые дозы которых трудно определить хим. методами) и микроэлементов. При помощи изотопных индикаторов разрабатывают приёмы автоматизации производств, процессов, например, отделение корнеклубнеплодов от камней и комков почвы при уборке комбайном на каменистых и тяжёлых почвах.

**Библиографический список**

1. Бурков В. В., Подпоряна Е. К., Стронций, М., 1962;
2. Юдинцева Е. В., Гулякин И. В., Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия, М., 1968;
3. Метаболизм стронция. Сб. статей, пер. с англ., М., 1971; **И.**
4. [vasilenko@depni.sinp.msu.ru](mailto:vasilenko@depni.sinp.msu.ru).
5. И. Я. Василенко, О. И. Василенко. “Стронций радиоактивный” // Энергия: экономика, техника, экология. 2002, N 4, С. 26–32;
6. Ландсберг Г. С. «Элементарный учебник физики». Том III. – М.: Наука, 1986
7. Тестов Б.В. «Основы радиационной биологии и экологии»: Учебное пособие / Пермь ун-т. – Пермь. 2000. – 153 с;
8. Практикум по радиобиологии: Учеб. Пособие / Лысенко Н. П., Пак В.В., ,Рогожина Л. В. И др. - М.: КолосС, 2007. – 399 с;
9. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных / Бударков В. А., Зенкин А. С., Боченков В. Ф. и др. - М.: КолосС, 2008. – 351 с;
10. «Сельскохозяйственная радиобиология»: учебник для вузов / Фокин А. Д., Лурье А. А., Торшин С. П. – М .: Дрофа, 2005. – 367 с;
11. Радиоактивные изотопы в химических исследованиях, Л.- JM., 1965;