

УДК 556.114.679; 504.04.06

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ТЕРРИТОРИИ – СХЕМА ПЕРЕНОСА

*Закиров И.Н., Манастырлы Д., студенты 2 курса факультета  
энергетики и природопользования  
Научный руководитель – Байдакова Е.В. к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

**Ключевые слова:** радионуклиды, почва, перенос радионуклидов, концентрации.

*Работа посвящена выполнению полевых исследований распределения цезия по форме, профилю, почвам и другим условиям формирования стока по водосборным площадям. Рассмотрены математические модели изменения концентрации радионуклидов по длине водосбора на неосушенных и осушенных землях.*

В результате последствий аварии на Чернобыльской АЭС произошло интенсивное загрязнение почв радионуклидами. Особенно существенно это проявилось в юго-западных районах Брянской области. Поскольку здесь наблюдается загрязнение гидроморфных почв и почв мелиорируемых (осушаемых и орошаемых) территорий.

Полевые наблюдения за уровнем радиации проводились нами в Красногорском, Новозыбковском и Злынковском районах Брянской области.

Для проведения экспериментальных исследований по радиоактивному фону водосборов были организованы 5 полигонов.

Образцы отбирались пробоотборником до глубины 10 см. Содержание радионуклидов определяли сцинтилляционным методом, прибор РУБ-01П6 с блоком детектирования БДКГ-ОЗП. Уровни гамма радиации определяли с помощью радиометра СРП-68-01, через 20-25 м.

Образцы отбирались по створам, которые были проложены по линиям тока воды от водораздела к подножию склона. Створы намечались на различных почвах, сельскохозяйственных угодьях, на различных по форме водосборах, на разных профилях.

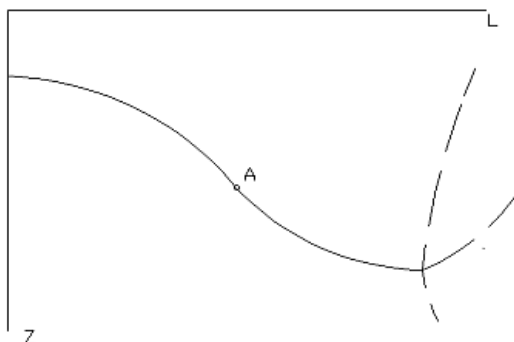
Графики кривых радионуклидов по створам состоят, в общем, из участков спада, подъема и горизонтальных отрезков разной длительности. Спады концентраций происходят на наиболее продолжительных

отрезках. Подъемы непродолжительны и приурочены к бессточным понижениям. Однако иногда резкий подъем радиации наблюдается на створах, перед впадением в канал, если есть приканальная дамба, которая препятствует стоку в канал. На пашне перепады радиации незначительны за счет интенсивного впитывания атмосферных осадков. Но такое типичное поведение изменяющихся радионуклидов иногда, а именно, в бессточных понижениях, нарушается резким, стремительным подъемом радионуклидов в конце створа. Графическим представлением изменения концентрации радионуклидов по длине створов, расположенных в различных условиях склоновых водосборов и пойм, для периода спада соответствует примерно одинаковая по форме S-образная (сигмоидная) кривая. Кривые, различаясь лишь незначительно в деталях, имеют общие характерные участки, сменяющиеся в определенной последовательности.

Одна и та же S-образная форма кривых роста высших организмов, микробов и растений может служить показателем проявления принципа биологического эпиморфизма, сформулированного Н.Рашевским. S-образная форма кривых роста эрозии и кривых концентрации радионуклидов, т.е. изменений систем, распределенных на значительном пространстве, позволяет говорить о более широком проявлении эпиморфизма - о соответствии свойств живых и неживых систем огромных размеров.

После достижения пика подъема концентрации радионуклидов в течение некоторого промежутка времени может почти не происходить спада уровней или же, наоборот, наблюдается резкое снижение концентрации радионуклидов сразу за пиком паводка. Затем наступает период интенсивного спада концентрации радионуклидов с увеличивающейся скоростью, которая достигает в какой-то момент времени максимального значения и потом снижается до нуля. Снижение радионуклидов по длине уменьшается, концентрация радионуклидов некоторое время остается почти постоянным, после чего наблюдается подъем в результате пересечения бессточного понижения (рис.1).

Таким образом, на кинетической кривой можно выделить четыре периода: начальный или период инерции, период регулярного снижения концентрации радионуклидов, равновесие или стационарная фаза и период подъема концентрации радионуклидов. Переход от одного периода к другому происходит в общем случае плавно и точку перехода четко определить бывает не всегда легко. Это объясняется не достаточно частыми измерениями концентрации радионуклидов.



**Рисунок 1 - Характерная кривая изменения концентрации радионуклидов по длине и по линии тока воды**

Деление кривой на фазы не означает, что предполагаются какие-то особые законы движения радионуклидов каждый период, а математические модели, описывающие процесс на разных стадиях несопоставимы и несводимый друг к другу.

Начальный период можно считать своеобразным пусковым периодом в снижении концентрации радионуклидов, когда в системе происходит перестройка, вызванная сменой направления концентрации радионуклидов от подъема к спаду. Начальный период может иногда характеризоваться отсутствием резких изменений концентрации радионуклидов, но, представляется, что именно в этот период происходят интенсивные изменения в зоне промежуточного содержания радионуклидов. Под зоной промежуточного содержания радионуклидов понимается такая зона, из которой частично радионуклиды ушли, но не достигли той концентрации, которая не может быть снижена стекающей водой. Зона промежуточного содержания радионуклидов перестраивается, и ее величина достигает таких критических значений, при которых обеспечивается сбалансированное, регулярное снижение концентрации радионуклидов в последующий период. Различие в формах проявления начальной стадии, как показывает анализ естественных кривых, не оказывает влияния ни на скорость снижения во втором периоде, ни на предельную величину снижения концентрации радионуклидов.

Период регулярного снижения концентрации радионуклидов можно охарактеризовать как протекание последовательных переходов

радионуклидов в зону промежуточного содержания радионуклидов и от нее к зоне снятой концентрации радионуклидов, из которой они не в состоянии вымываться водой. Запишем пространственные изменения концентрации радионуклидов в виде:

$$V = \frac{dZ}{dt}; \quad V_{\text{ср}} \frac{Z_2 - Z_1}{\ell_2 - \ell_1} = \frac{\Delta Z}{\Delta \ell};$$

$$\beta = \frac{dZ}{d\ell} * \frac{1}{Z} = \frac{d \ln Z}{d\ell};$$

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{Z_2 - Z_1}{\ell_2 - \ell_1} * \frac{1}{Z_{\text{ср}}}.$$

где  $V_{\text{ср}}$  - абсолютный средний темп изменения радионуклидов по длине;  
 $V$  - мгновенная скорость изменения концентрации радионуклидов;

$\beta$  - относительная скорость, т.е. величина абсолютной скорости, отнесенная к величине снижения концентрации радионуклидов.

По физическому смыслу относительная скорость снижения концентрации радионуклидов представляет собой темп снижения на единицу длины.

Вычисляя относительную скорость для различных участков кривой можно при определении значений  $Z_0$  добиться линейно убывающей

зависимости  $\beta$  от  $Z$ . Абсолютная скорость изменения концентрации радионуклидов на начальном участке периода регулярного снижения растет, достигая максимального значения, затем наступает период снижения абсолютной скорости. В соответствии с изменением скорости на начальном участке изменение концентрации радионуклидов подчиняется экспоненциальному закону, последующий участок является периодом отрицательного ускорения. Точку перегиба кривой скорости можно рассматривать как одну из характерных точек кривой (точка А на рис.1).

Прогрессивно возрастающее замедление снижения концентрации радионуклидов приводит к стабилизации снятой концентрации радионуклидов на определенной отметке. В разные годы наблюдений даже на одном и той же створе стабилизация концентрации радионуклидов происходит на разных, резко отличающихся высотных отметках, хотя, в общем, должна отмечаться тенденция стремления к одной от-

метке - отметке полного исчерпания радионуклидов в данном створе.

Кривая подъема снятой концентрации радионуклидов в зависимости от ряда обстоятельств может отражать экспоненциальный закон изменения, характеризоваться стремительным почти вертикальным или, наоборот, слабонаклонным ростом снятой концентрации радионуклидов и напоминать по форме S - образную кривую.

Таким образом, изменения концентрации радионуклидов при их движении является результатом сложных взаимоотношений, системы водосбора и окружающей среды, внешним проявлением которых является S - образная форма кривых. Простые функциональные зависимости не в состоянии описать процесс, что проявляется при первых же количественных сравнениях изменения концентрации радионуклидов в наблюдательных створах на разных водосборах или на одном, наблюдательном створе, но в разные годы.

Для получения адекватных, количественных оценок необходимо аналитическое выражение S - образной функциональной зависимости кривой изменения концентрации радионуклидов.

Моделирование - это материальное или мысленное имитирование реально существующей системы путем создания специальных аналогов (моделей), в которых воспроизводятся принципы организации и функционирования этой системы.

Разработка математической модели процесса по аналогии с другими областями знаний должна строиться по определенному плану. Сначала изучаются физические законы передвижения радионуклидов на водосборах, не зависящие от их величины. Далее разрабатывается математическая модель в форме кинетического уравнения, системы уравнений. Экспериментами на водосборных площадях в реальных условиях устанавливаются количественные зависимости величин параметров и констант математической модели изучаемого процесса. Осуществляется оптимизация процесса путем регулирования параметров модели и определяются пути практического осуществления этого регулирования, математическая модель должна давать возможность расчета темпов снижения и подъема концентрации радионуклидов, что обеспечивает оценку режимов проходящих процессов при определенной структуре мелиоративной системы или же решать обратную задачу.

Построение кинетической модели изменения концентраций радионуклидов должно обязательно опираться на анализ предполагаемого механизма процесса и составление его схемы. Схема должна

отражать возможные стадии перехода исходного вещества системы – радиоактивного вещества в зону очищения от радионуклидов и учитывать на данном уровне абстрагирования основные характерные черты изучаемого процесса. Очевидно, что чем полнее схема отражает реальный механизм процесса, тем больший круг вопросов можно будет объяснить с помощью полученной математической модели. Любые изменения модели с помощью введения различных поправочных коэффициентов без соответствующего пересмотра исходной схемы предполагаемого механизма, лишают математическую модель ее качественных особенностей, превращая в эмпирическое выражение.

Предположим, что все изменения в системе концентрации радионуклидов - внешняя среда происходят в результате взаимодействия только двух обобщенных кинетических единиц – радиоактивного вещества в почве или снеге  $H$  и снятая концентрация потоком воды  $Z$ .



где  $Z$  - снятая концентрация потоком воды.

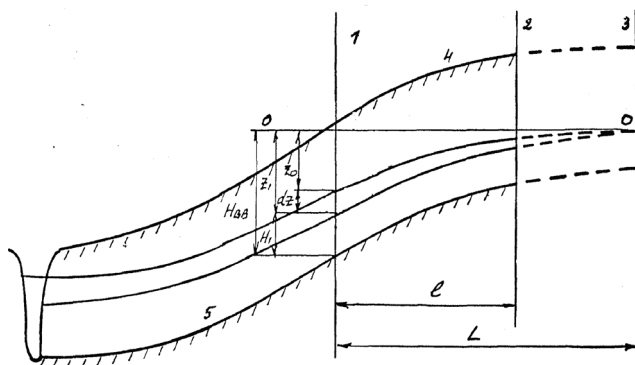
$H$  - характеризует концентрацию радионуклидов в почве или снеге.

Правая часть схемы (1) отличается от левой тем, что вместо символа « $H$ » появляется символ « $Z$ ». В данном случае предполагается, что « $Z$ » - это упорядоченное « $H$ » и наоборот, « $H$ » - это разупорядоченное « $Z$ ».

Радиоактивные продукты перемещаются в почве либо вместе с частицами – носителями, либо в растворенном виде в результате смыва с поверхности частиц почвы, либо в результате их разрушения. Важнейшим фактором, влияющим на миграцию радионуклидов, является влажность почвы. Они переносятся с током воды при фильтрации через почву, перемещаются движущимися потоками пара, поднимаются по капиллярам к испаряющейся поверхности в ненасыщенной почве, корневой системе растений и далее внутри побегов к листьям, где расходятся на транспирацию.

Перенос радионуклидов осуществляется силой  $P$ , пропорциональной разности концентраций радионуклидов на водоразделе и в рассматриваемом сечении, т.е.  $P = \alpha Z$ , с градиентом  $\alpha Z/L$ .

Активное живое сечение потока нуклидов  $F$  принимаем пропорциональным « $H_{вв}$ » - концентрации нуклидов в почве, т.е.  $F = \beta H_{вв} b$ , где  $b$  - ширина потока.



**Рисунок 2 - Схематизация перемещения радионуклидов вместе с водой по водоупору:**

1- створ осушительного канала; 2- створ границы водораздела; 3- гипотетическая точка пересечения 5- образных депрессионных кривых с осью отсчета 0-0; 4- поверхность земли; 5- водоупор;  $l$  - расстояние от створа осушительного канала до створа границы водораздела;  $L$ -расстояние от створа осушительного канала до гипотетической точки пересечения 5- образных депрессионных кривых с осью отсчета 0-0.

Нуклиды занимают капилляры и поры почвы далеко не все: имеются закрытые, тупиковые поры и капилляры, куда не проникает вода; поры с нерастворившимися радионуклидами; капилляры, куда не попала вода из-за неполного насыщения почвы водой. В большинстве случаев радионуклиды в почве присутствуют в незначительных концентрациях. Масса, например, 1 Ки  $^{90}\text{Sr}$  оставляют  $7 \cdot 10^{-3}$  г, 200 пКи/кг почвы  $^{90}\text{Sr}=1,4 \cdot 10^{-12}$  г/кг почвы. Нуклиды перемещаются не по полным сечениям водных потоков, также движется влага в диапазоне продуктивной влаги, заполняя лишь отдельные капилляры, не перемешиваясь.

В общем случае кривая, характеризующая концентрацию радионуклидов по линии тока воды, является слегка изогнутой. Допускается, что ее можно считать прямой линией. Кривые концентрации, соответствующие разным моментам времени, бесконечно приближаются к оси 0-0 как к своей асимптоте. Ось 0-0 характеризует наивысшую концентрацию радионуклидов « $H_{об}$ ».

С некоторым уровнем достоверности можно принять, что кривые концентрации пересекаются в точке 0, расположенной дальше границы водосбора.

*Библиографический список*

1. Алексахин Р.М. Радиоэкологические уроки Чернобыля // Радиобиология. - 1993. - Т. 33. - Вып. 1. - С. 3-14.
2. Анисимов В.С. Влияние форм аварийных выпадений и физико-химических свойств почв на подвижность  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва - растение» в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС // Дис. канд. биол. наук.- Обнинск, 1995.- 137с.
3. Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В. Основы сельскохозяйственной радиологии. М.: Агропромиздат, 1991, 287с.
4. Василенков В.Ф. Моделирование процессов стекания грунтовых вод с водосбора и методы расчетов сельскохозяйственного дренажа. Брянск. Издательство БГСХА, 1995, 250с.
5. Поляков Ю.А. Закономерности поведения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почве // В кн.: Современные проблемы радиобиологии. - Т. 2., Радиоэкология. Под ред. В.М. Ключковского. - М.: Атомиздат, 1971. - С. 90 - 97.

## **MODELING OF RADIONUCLIDE'S DISTRIBUTION ON THE TERRITORY – SCHEME OF TRANSFER**

*Zakirov I.N., Manastirli D.*

*Field experiments have been accordingly conducted to study Cs137 spreading over the form profiles soils and other factors with regard to run off channels of water intake areas.*

*Math's equations have been worked out delineating radionuclide concentration change measured alongside water intake channel on drained or untrained areas.*