

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

МИГРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137 В НЕПРОТОЧНЫХ ВОДОЕМАХ

С.В. Василенков

ФГОУ ВПО Брянская государственная
сельскохозяйственная академия
*ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район,
Брянская область, Россия, 243365*

В статье представлены итоги изучения миграции цезия в стоячей воде водоемов. Выявлено и показано, что цезий в результате самоочищения воды осаждается на дно водоема, на поверхность водных растений и микроорганизмов, удаляется с испаряющейся влагой. Приведены количественные показатели процессов миграции.

Ключевые слова: радионуклиды цезия, миграция, экология водоемов.

В западных районах Брянской области, наиболее загрязненных радионуклидами, построены и существуют в настоящее время множество прудов и каналов.

При использовании водоемов сельскохозяйственного назначения без ограничений в водопользовании доминирующая доза формируется за счет внутреннего облучения. Внешнее облучение за счет пребывания людей на берегах, пляжах, купания в воде, катания на лодках, нахождения на затопливаемых поймах и др. существенно меньше внутреннего облучения. Считается, что критическим видом водопользования является потребление рыбы, а на втором месте стоит использование воды водоемов для орошаемого земледелия.

При коэффициенте накопления ^{137}Cs в рыбе 2000 (по отношению к воде) допустимое содержание ^{137}Cs в воде рыбохозяйственных водоемов характеризуется величиной 11 Бк/л.

Коэффициент накопления ^{137}Cs донных отложений по отношению к воде водоема составляет $30\,000 \text{ Бк/кг/Бк/л}$ [1]. Особенно важно учитывать степень загрязнения донных отложений при рассмотрении вопроса о снятии водоема с эксплуатации.

По подсчетам С.В. Казакова [1], допустимый уровень активности ^{137}Cs в воде при использовании водоема для рыборазведения характеризуется 0,031 Бк/л, а критическим вариантом использования является водопользование без ограни-

чений (питьевое водоснабжение, рыборазведение, орошаемое земледелие, использование затапливаемых земель) — 0,015 Бк/л.

Содержание цезия в донных отложениях ограничивается 46 Бк/кг, а при использовании донных отложений в качестве удобрений — 4 Бк/кг.

Из сказанного видно, насколько актуальны исследования процессов загрязнения и очищения водоемов на радиоактивно-загрязненных территориях Брянской и других областей.

Процессы переноса и концентрации радионуклидов в воде имеют важное значение при хозяйственном использовании водоемов, и их роль в этом плане все более и более возрастает. В этой статье проиллюстрируем, как изменяются показатели радиоактивности воды в водоемах со стоячей водой (т.е. вода уже лишилась большей части взвесей) в условиях:

- а) ограниченного испарения с открытой поверхности;
- б) свободного испарения при комнатной и повышенной температуре;
- в) при поступлении атмосферных осадков в водоем и без них.

Опыт № 1

Вода темно-коричневого цвета, без осадков и видимых взвесей с первоначальной объемной активностью 118,2 Бк/л помещалась в измерительный контейнер-кюветку Маринелли с плотно закрывающейся крышкой, затем в полиэтиленовый пакет для минимизации испарения. Сосуд хранился в прохладном месте, в покое, в течение 24 периодов (циклов), продолжительностью 1—15 сут. каждый. В конце циклов определялась объемная активность воды на радиометре РУБ-01П6.

В течение месяца темная окраска исследуемой воды исчезла, образовались хлопья и осели на дно, вода стала прозрачной с желтоватым оттенком.

Объемная активность воды уменьшилась к 24-му циклу (через 4 мес.) незначительно — на 12,9 Бк/л.

Естественный распад ядер цезия-137 за это время составил 0,8 Бк/л:

$$C_t = C_0 \cdot \exp\left(-\frac{0,693t}{T}\right) = 118,2 \cdot \exp\left(-\frac{0,693 \cdot 0,3}{30}\right) = 117,4 \text{ Бк/л};$$
$$118,2 - 117,4 = 0,8 \text{ Бк/л}.$$

Опыт № 2

Изучался вынос цезия с открытой водной поверхности в результате испарения воды при комнатной температуре. Использовалась радиоактивная вода из предыдущего опыта с начальной объемной активностью 97,1 Бк/л. Проба воды хранилась в открытом контейнере — кюветке Маринелли по периодам (циклам) испарения.

Контейнер прикрывался с поверхности марлевой салфеткой в один слой для ограждения от попадания пыли, мусора и других примесей.

Проведено 5 циклов испарения по 4—6 сут. каждый. В конце цикла фиксировалась масса оставшейся после испарения воды, измерительный контейнер плотно закрывался крышкой, и производилось определение активности.

За 5 циклов в течение 24 сут. масса воды уменьшилась с 270 г до 129,2 г (2,09 раза), объемная активность возросла в 1,95 раза.

Объемная активность увеличилась, во-первых, за счет повышения концентрации радионуклида цезия в оставшейся воде, во-вторых, показатель объемной активности пробы увеличивается с уменьшением массы и объема пробы в измерительном контейнере.

Изменение активности по циклам испарения происходило неравномерно и зависело в основном от количества испарившейся воды и от температуры воздуха.

Чтобы сделать вывод о количестве радионуклидов, испарившихся вместе с водой, необходимо произвести разбавление остатка воды (129,2 г) с повышенной концентрацией цезия (188,9 Бк/л) дистиллированной водой до первоначальной массы 270 г и вновь проверить активность. Это сделано в следующем опыте.

Опыт № 3

Использовалась радиоактивная вода предыдущего опыта массой 129,2 г с объемной активностью 188,9 Бк/л. Этот остаток воды разбавили дистиллированной водой до первоначального объема массой 270 г, и объемная активность разбавленной воды составила 84,9 Бк/л, т.е. снизилась на $97,1 - 84,9 = 12,2$ Бк/л. Это снижение произошло за счет выноса нуклидов с испаряющейся водой.

В опыте проводилось 2 этапа испарения по 5—6 циклов в каждом. После каждого этапа испарения и определения массы и активности оставшейся воды осуществлялось разбавление добавлением дистиллированной воды до первоначальной массы 270 г. Снова определялась объемная активность разбавленной воды.

После второго разбавления объемная активность составила 81,48 Бк/л и, таким образом, за счет испарения концентрация цезия снизилась на $84,9 - 81,48 = 3,42$ Бк/л.

После третьего разбавления оставшейся после испарения воды объемная активность снизилась на $81,48 - 80 = 1,48$ Бк/л, т.е. с испарившейся водой ушло в атмосферу комнаты 1,48 Бк/л цезия.

Всего за 75 сут. испарения объемная активность воды уменьшилась на $97,1 - 80 = 17,1$ Бк/л. За все 3 мес. вода в сосуде Маринелли перемешивалась только трижды, в момент добавления дистиллированной воды: первый раз — 140,8 г, второй — 155 г, третий — 138,55 г.

В течение каждого этапа испарения концентрация цезия в оставшейся воде от цикла к циклу прогрессирующе нарастает. Вынос цезия с испаряющейся водой по этапам снижается, хотя продолжительность этапов испарения примерно одинакова.

Таким образом, интенсивность выноса цезия с испаряющейся влагой при комнатной температуре характеризуется следующим снижением объемной активности воды:

$$\frac{17,1 \text{ Бк/л}}{75 \text{ сут}} = 0,23 \text{ Бк/л в сутки.}$$

С единицы площади испарения 1 м^2 удаляется при комнатной температуре за сутки 25,47 Бк/л цезия.

Опыт № 4

Изучалось изменение радиоактивности воды при испарении с открытой поверхности сосуда при подогреве воды до 30 °С без перемешивания с поэтапным разбавлением дистиллированной водой. До такой температуры нагревается вода в водоемах-охладителях атомных электростанций.

Мутная вода с объемной активностью 88,6 Бк/л осаждалась в течение 2 сут. Видимые взвеси при этом исчезли, объемная активность стала 33,6 Бк/л. Приготовленная таким образом вода подогревалась в открытом измерительном контейнере Маринелли по циклам продолжительностью 5—12 час. каждый. Опыт выполнялся в 3 этапа по 5—7 циклов. В начале нового этапа остаток воды с повышенной концентрацией цезия от предыдущего этапа разбавлялся дистиллированной водой до первоначальной массы. Продолжительность этапа 1,5—2 сут.

Через 5—12 час. подогрева воды кюветка-контейнер закрывалась крышкой, упаковывалась в полиэтиленовый пакет и помещалась в прохладное место для осаждения в течение 12—24 час. На период подогрева и осаждения вода не взбалтывалась, не встряхивалась, не перемешивалась.

Определение активности пробы воды на радиометре РУБ-01 П 6 проводилось в конце каждого цикла после осаждения пробы.

После окончания испарительного этапа 1 в кюветку Маринелли с остатком воды массой 74,2 г и объемной активностью 142,6 Бк/л добавили дистиллированной воды до первоначальной массы 289,2 г. В конце второго этапа к остатку воды 52,3 г добавили 235,9 г. В конце третьего этапа осталось 51,2 г воды с объемной активностью 142,2 Бк/л, добавили 238 г воды.

Вынос цезия с испаряющейся водой за 154,5 часа (время подогрева) составил $33,6 - 26,2 = 7,4$ Бк/л или 22%.

Интенсивность испарения за 6,44 сут. составила $\frac{7,4}{6,44} = 1,15$ (Бк/л в сут.).

Интенсивность испарения с подогревом в 5 раз выше, чем при комнатной температуре. В процентном отношении общий вынос цезия при испарении с подогревом отличается от выноса при комнатной температуре на $22\% - 17,6\% = 4,4\%$.

С единицы площади испарительного сосуда 1 м² удаляется при подогреве воды за сутки 127,35 Бк/л цезия.

Опыт № 5

Цель опыта: изучение изменения радиоактивности воды за счет осаждения радионуклида цезия-137 на дно и стенки сосуда. Использовалась вода предыдущего опыта массой 289,2 г, с объемной активностью 26,8 Бк/л. Вода очищалась от коллоидов фильтрованием через холщевую салфетку. Отфильтрованная вода массой 255,35 г с начальной объемной активностью 19,45 Бк/л помещалась в кюветку Маринелли-1, в которой определялась активность воды. Далее вода переливается из кюветки Маринелли-1 в кюветку Маринелли-2. Габариты кюветок одинаковые. Вода в кюветке Маринелли-2 отстаивается с закрытой крышкой по циклам в течение 2—40 час. каждый. После отстаивания вода снова переливается в кюветку Маринелли-1 для определения активности на радиометре.

Обе кюветки после опорожнения протираются насухо салфеткой. Исследуемая проба воды отстаивается всегда в кюветке Маринелли-2, а активность ее определяется всегда в кюветке Маринелли-1.

Разница в активности пробы воды до и после отстаивания характеризует количество осевших радионуклидов.

Проведено 8 циклов осаждения общей продолжительностью 131,5 час. (5,5 сут.). За счет потерь воды при протирании мокрых кюветок и последующем смачивании сухих масса пробы снизилась за 8 циклов на 14,65 г.

Объемная активность воды за 8 циклов снизилась за счет осаждения радионуклидов на стенках и дне сосуда с 19,45 до 12,89 Бк/л, т.е. на 6,56 Бк/л, интенсивность осаждения составила 1,2 Бк/л в сутки.

При площади открытой водной поверхности 1 м² осажается 132,9 Бк/л в сутки радионуклида цезия.

По-видимому, передвижение цезия в озерах и прудах в общих чертах аналогично этому процессу в опытных сосудах.

Попав в водоем, цезий захватывается прежде всего планктоном путем адсорбции его на поверхности клеток. Планктон преимущественно состоит из одноклеточных зеленых водорослей с незначительной массой по отношению к массе воды, но с большой суммарной адсорбирующей поверхностью. Несколько медленнее цезий оседает на прикрепленных водорослях, растущих на дне и на укоренившихся высших растениях по берегам водоема.

Цезий проникает в мелких водных насекомых, поедающих планктонные водоросли; улиток, питающихся водорослями; далее в хищных животных.

Постоянно оседающий планктон и экскременты животных увеличивают долю цезия в донном иле.

Происходит накопление цезия и в пленке микроорганизмов, образующейся на стеблях, листьях растений и на поверхности донных отложений.

Между планктоном, водорослями, донным илом, осадком и водой постоянно происходит обмен радионуклидами до достижения состояния динамического равновесия.

Летом воды прудов и озер стратифицированы. Верхний слой теплой воды отделен термоклином (зона быстрого изменения температуры с глубиной) от массы холодной воды на глубине. Поступивший с весенними талыми водами с полей радионуклид цезия вместе с планктоном и частицами опускается в нижние слои воды, где может переходить в ил и поглощаться бактериями и другими организмами, обитающими в иле. Некоторое количество цезия диффундирует из ила в воду.

Во многих водоемах, прежде всего в мелководных, большая часть растительной продукции образуется прибрежными растениями, а не планктоном открытых вод, и поглощение ими цезия становится важным фактором, характеризующим баланс цезия в водоеме.

Весной, когда вода имеет одну и ту же температуру по всей глубине и нет различий в плотности, воды прудов и озер легко перемешиваются под действием ветра. Цезий снова выносится на поверхность, которая прогревается и наступает пик продуктивности планктона. Летом водоем опять стратифицирован, и ветер

перемешивает только теплые, менее плотные поверхностные воды. Содержание цезия в поверхностных слоях воды снова уменьшается.

Осенью приповерхностные слои остывают, температура и плотность выравниваются по всей глубине, вновь происходит перемешивание воды в водоемах.

Выводы

Процессы самоочищения водоема сопровождаются выносом с испаряющейся влагой, поглощением и аккумуляцией цезия организмами, осаждением мертвых остатков, вызывают отток поступившего с грунтовыми и весенними талыми водами радионуклидов и улучшения качества воды.

Постепенно цезий переходит из активного круговорота в менее активные формы со скоростью характерной для экосистемы конкретного водоема, и достигается экологическое равновесие.

Выявленные закономерности осаждения цезия в воде, на поверхности водных растений и микроорганизмов, удаления в процессе испарения влаги необходимо учитывать при проектировании рыбоводных прудов, отстойников, биоканалов, разработке мероприятий по снижению доз внутреннего облучения населения при использовании водоемов для рыборазведения, орошаемого земледелия и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Казаков С.В. Принцип оценки радиоэкологического состояния водных объектов // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2004. — Т. 44. — № 6. — С. 694—704.

CESIUM-137 MIGRATION IN NON-FLOWING BASINS

S.V. Vasilenkov

The department of Environment engineering and water management
Bryansk State Agricultural Academy
*Sovetskay str., 2a, v. Kokino, Vigonichskiy district,
Bryansk region, Russia, 243365*

There is given the results of investigation of Cesium-137 migration in non-flowing basins. It is revealed and shown, that in the result of water self-purification cesium precipitates on the bottom of basin, on the surface of water plants and microorganisms, moves away with evaporated moisture. It is also given quantitative indexes of migration processes.

Key words: radionuclides of cesium, migration, basin ecology.