

УДК 502/504:556

С. В. ВАСИЛЕНКОВФедеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Брянская государственная сельскохозяйственная академия»**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ
РАДИОНУКЛИДОМ ЦЕЗИЯ В ВОДОЕМАХ**

Проведены экспериментальные исследования снижения активности взмученной воды над слоем радиоактивных илистых отложений водоемов при внесении на поверхность дна скрепляющих компонентов – цемента и извести. Предложены мероприятия, предотвращающие или ограничивающие вторичное поступление радионуклидов в толщу воды при взмучивании придонного слоя.

Радионуклиды, донные отложения, вторичное загрязнение воды, скрепляющие компоненты – цемент, известь.

Experimental investigations were carried out on reduction of the activity of the roiled water above the layer of radioactive ponds silt sediments when introducing fastening components – cement and lime on the bottom surface. There were proposed measures preventing or limiting a secondary inflow of radio nuclides into the water column during the bottom layer roiling.

Radio nuclides, bottom sediments, secondary water contamination, fastening components – cement, lime.

Загрязнение водосборных площадей радионуклидами после Чернобыльской аварии привело к радиоактивному загрязнению наносов внеусловного происхождения. Смываемые с распаханых земель в результате плоскостной и ручейковой эрозии наносы имеют мелкий фракционный состав, развитую удельную поверхность и в большом количестве сорбируют радионуклиды. Большая часть радионуклидов цезия и стронция адсорбируется на частицах диаметром менее 0,07 мм.

Опыты по изучению скорости молекулярной диффузии в капиллярах ила, отобранного в пруду деревни Карпилавка Злынковского района, показали, что даже после четырех месяцев выстаивания под слоем воды верхний слой ила оказывался сильно разжиженным и четкой грани между водой и илом не существовало.

Этот полужидкий слой высокодисперсных илистых частиц обладает высокой удельной активностью. Нижний слой донных отложений, наоборот, очень уплотнен и препятствует распространению радионуклидов вглубину и загрязнению подрусловых вод. Коэффициенты диффузии в верхние слои в 10 раз выше, чем в нижние слои: в проведенных опытах $(5...6) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ [1].

Установленный автором факт наивысшей удельной активности верхнего слоя донных отложений пруда в деревне Карпиловка не может быть объяснен процессами диффузии. Отложения ила, загрязненные сразу после Чернобыльской аварии, покрывались в прудах менее радиоактивными продуктами эрозии последующих лет. Максимальная удельная активность цезия в верхних слоях донных отложений объясняется перераспределением фракции взвешенных наносов при их осаждении в мутных паводковых потоках весенних периодов при взмучивании наносов ветровыми течениями летних и осенних периодов. В результате таких осадений наиболее мелкие, с наибольшей удельной активностью фракции оказываются в верхнем слое донных отложений.

На мелководных реках с илистым дном, на небольших слабопроточных и особенно непроточных водоемах, которых множество на загрязненной территории, донные отложения являются серьезным источником вторичного загрязнения воды радиоактивными веществами. Причем, если брать пробы воды на анализ в тихую, безветренную погоду, загрязнения радионуклидами можно и не обнаружить.

В настоящее время в западных районах Брянской области, наиболее

загрязненных радионуклидами цезия, для снижения его поступления в продукты растениеводства широко применяют калийные удобрения и известь. Эти материалы в проведенных экспериментах по вымыву цезия из почв способствуют ускоренному вымыванию. Они же изменяют щелочно-кислую реакцию почвенного раствора и, попадая в водоем, изменяют показатель рН воды.

С одной стороны, при поступлении цезия-137 с низким значением рН с поверхностным или грунтовым стоком в природные водоемы, вода которых обычно имеет показатель рН, близкий к нейтральному, радионуклид будет частично осаждаться на дно. С другой стороны, поставка цезия-137 из донных отложений обратно в воду рек и водоемов со сниженным и повышенным рН против нейтральных значений должна увеличиваться.

По некоторым данным, концентрация Ca^{2+} в весенний период в дренажном стоке 1% -й обеспеченности на пропашных культурах достигает 153 мг/л, в летний период – 190 мг/л, в осенний период – 200 мг/л (летом и осенью концентрация элемента заметно превышает ПДК) [2, 3].

При разработке водоохраных мероприятий для водоемов необходимо учитывать все особенности осаждения радионуклидов и вторичного их поступления из донных отложений в воду.

Автором была поставлена задача – изучить способы воздействия на процесс вторичного загрязнения водоемов путем внесения скрепляющих материалов и изменения щелочно-кислотной реакции воды водоемов.

Методика проведения опытов. Изменение радиоактивности мутной воды в водоемах при внесении скрепляющих компонентов на поверхность донных отложений изучалось в лабораторных условиях при периодическом взмучивании поверхностного слоя отложений, затопленных слоем воды.

В качестве илистых отложений использовался грунт двух типов:

ил верхнего слоя донных наносов с удельной активностью 2534 Бк/кг из пруда поселка Карпиловка сельскохозяйственного предприятия «Ромашино» Злынковского района Брянской области; радиоактивный грунт, представленный легкой супесчаной почвой с множе-

ством растительных и гумусовых остатков, плохо промачиваемой при затоплении. Начальная удельная активность сухого измельченного грунта – 13 790 Бк/кг. В качестве скрепляющих компонентов использовались порошкообразные цемент и известь.

Илистые отложения затопливались водопроводной водой с рН = 7,5...7,8.

Грунт и воду помещали в стеклянные цилиндрические емкости объемом 1 л, диаметром 10 см, высотой 15,5 см.

Активность взмученной воды определяли на радиометре РУБ-01-П6.

Для фиксации изменений кислотности воды при внесении скрепляющих компонентов измеряли активность ионов водорода с помощью ионометрического преобразователя И-500 по ТУ4 215-002-29074628-96.

Подготовленные сухие пробы илистых отложений засыпали в четыре сосуда. В сосуды 1...3 помещался ил с удельной активностью 2 534 Бк/кг, массой по 242 г в каждый сосуд. В качестве скрепляющего компонента применяли сначала известь, затем, после нескольких циклов взмучивания, цемент.

В сосуд 4 засыпали грунт с удельной активностью 13 790 Бк/кг, массой 190 г. В качестве скрепляющего компонента применяли только цемент.

Схемы внесения скрепляющих компонентов:

Сосуд 1.

Известь или цемент рассыпали на поверхность воды и размешивали в верхнем слое воды 1,5 см.

Сосуд 2.

На влажную поверхность ила вносили известь или цемент, затем ил высушивали и заливали слоем воды 10 см.

Сосуд 3.

На высушенную поверхность ила рассыпали известь или цемент, ил рыхлили на глубину 0,5 см, увлажняли небольшим количеством воды и заливали слоем воды 10 см.

Сосуд 4.

Последовательность операции такая же, как в сосуде 3, но вносили изначально только цемент.

Степень взмученности слоя воды над затопленным илом измеряли активностью мутной воды. Взмучивание отстаившейся воды проводили в течение 1 мин

мешалкой, опущенной до середины слоя воды. Мешалка двигалась по горизонтальному кругу со скоростью 60 об/мин.

После определения рН и активности взмученной воды проба возвращалась в свой сосуд и начинался новый цикл отстаивания.

Цель проведения опытов:

изучить процесс снижения активности взмученной воды над слоем радиоактивных илистых отложений при внесении на поверхность отложений скрепляющих компонентов;

разработать мероприятия, предотвращающие или ограничивающие вторичное поступление радионуклидов в толщу воды в существующих прудах и других водоемах при взмучивании придонного слоя.

Результаты опытов приведены в таблице.

Внесение извести на поверхность, чистой водопроводной воды и взмученной отстоявшейся воды (сосуд 1) способствует повышению рН при первом внесении на 1,5 единицы, при втором – на 4,5 единицы. Активность взмученной воды также возрастает сразу после внесения извести. Показатель рН сразу после внесения извести увеличивается, но затем снижается в течение 20 сут до начального значения.

После внесения 6 г цемента объемная активность мутной воды снизилась со 175 до 0,7 Бк/л и в дальнейшем в семи взмучиваниях не превышала 50 Бк/л. Показатель рН вырос до 11,87 единиц и за 50 сут снизился до 8,75 единиц.

Таким образом, внесение цемента способствует ограничению взмучивания и поступления радионуклидов из донных отложений в воду.

Внесение извести на влажную поверхность ила (сосуд 2) способствует созданию известковой корки, которая в течение двух взмучиваний препятствует поступлению радионуклидов из ила в воду. В дальнейшем корка разрушается, и после третьего взмучивания объемная активность воды растет – до 85,9 Бк/л к девятому взмучиванию. Показатель рН изменяется так же, как и в первом варианте опыта, но амплитуда изменений меньше.

После внесения цемента объемная активность взмученной воды изменяется

примерно так же, как в первом варианте опыта, но амплитуда изменения рН меньше – от 9,67 до 7,56 единиц. Такое мероприятие можно проводить на прудах, ежегодно освобождаемых от воды для отлова рыбы.

При первом внесении извести на сухую поверхность донных отложений с последующим рыхлением (сосуд 3) объемная активность мутной воды после четырех взмучиваний оставалась равной объемной активности мутной воды без внесения скрепляющих компонентов – в пределах 53,4...46 Бк/л. При повторном внесении извести с рыхлением объемная активность взмученной воды оставалась меньше или равной объемной активности воды без скрепляющих компонентов – в пределах 37,9...52,5 Бк/л.

Таким образом, этот метод применим для снижения активности взмученной воды на существующих прудах. Диапазон изменения рН – от 7,04 до 8,26 единиц.

Внесение цемента на сухую поверхность отложений с рыхлением существенно снижает объемную активность воды – с 58,8 до 9,4 Бк/л.

При последующих пяти взмучиваниях роль цемента постепенно пропадает и объемная активность воды снова возрастает до 61,1 Бк/кг.

При внесении 3 г цемента в грунт с множеством гумусированных и растительных остатков (сосуд 4) объемная активность взмученной воды падает с 430,9 до 22 Бк/л. Однако созданный плотный слой быстро разрушается, и после пяти взмучиваний объемная активность снова возрастает – с 22 до 344 Бк/л. Повторное внесение цемента на поверхность воды не способствует длительному снижению активности воды, наоборот – объемная активность после второго взмучивания достигает 291,5 Бк/л. Внесение 6 г цемента в третий раз с рыхлением, увлажнением и дополнительным внесением 1 г цемента на взрыхленную поверхность способствует образованию после схватывания цемента плотного слоя с гладкой поверхностью. На протяжении двенадцати взмучиваний объемная активность воды изменяется в диапазоне 19,5...60,4 Бк/л.

**Изменение показателя кислотности рН и объемной активности воды
С Бк/л над радиоактивным илом и грунтом после взмучивания**

Дата внесения известки и цемента и взмучивания воды	Внесение известки и цемента на поверхность воды. Сосуд 1		Внесение известки и цемента на поверхность влажного ила без рыхления. Сосуд 2		Внесение известки и цемента на поверхность сухого ила с рыхлением. Сосуд 3		Внесение цемента на грунт с рыхлением и на поверхность воды. Сосуд 4	
	рН	С Бк/л	рН	С Бк/л	рН	С Бк/л	рН	С Бк/л
25.12.08	7,04	53,8	7,04	53,8	7,04	53,8	—	—
Внесение 1 г известки 25.12.08	да		да		да		нет	
05.01.09	8,34	68,0	8,26	53,4	8,21	53,4	—	—
09.01.09	7,73	96,9	8,16	54,08	8,26	41,3	—	—
12.01.09	7,62	87,4	7,99	57,05	8,09	25,7	—	—
14.01.09	7,50	85,1	7,85	74,4	7,8	46,0	6,84	430,9
14.01.09 Внесение 3 г цемента	нет		нет		нет		да	
Перемешивание воды и грунта 16.01.09	да		нет		нет		нет	
16.01.09 Внесение 1 г известки	нет		да		нет		нет	
19.01.09 Внесение 3 г известки	нет		нет		да		нет	
19.01.09	7,2	203,9	8,28	35,2	—	—	6,88	22,0
23.01.09	7,21	193,0	8,0	76,4	—	—	8,28	81,3
26.01.09 Внесение 2 г известки	да		нет		нет		нет	
28.01.09	11,87	133	7,67	85,9	8,26	37,9	8,43	234,8
02.02.09	9,44	124	7,64	81,2	8,02	27,4	8,15	295,0
06.02.09	9,12	175,6	7,64	85,9	7,95	52,5	8,04	344,0
16.02.09 Внесение 6 г цемента	да		да		нет		да (на воду)	
19.02.09	11,8	0,7	8,04	0,0	8,1	58,8	9,86	166,4
24.02.09	9,7	44,5	9,67	11,5	—	—	10,28	291,5
27.02.09 Внесение 6 г цемента	нет		нет		да		нет	
2.03.09 Внесение 6 г цемента до рыхления и 1 г после рыхления	нет		нет		нет		да	
11.03.09	10,16	31,8	8,99	34,55	9,45	9,4	7,87	23,6
17.03.09	10,03	3,6	9,43	51,04	9,4	25,8	9,4	19,5
19.03.09	9,91	23,6	9,25	56,5	9,23	22,8	9,41	44,6
11.04.09	8,77	53,7	8,52	60,8	8,27	53,1	8,96	35,83
13.04.09	8,75	43,7	8,02	49,9	8,17	33,6	8,57	37,9
16.04.09	8,89	46,1	8,25	83,7	8,38	61,1	8,7	60,4
17.04.09 Внесение цемента	да (6 г)		да (10 г)		да (6 г до рыхления; 3 г после рыхления)		нет	
20.04.09	13,2	10	—	—	—	—	8,51	48,24
23.04.09	13,22	28,8	7,56	34,08	7,7	16,6	8,78	30,2
24.04.09	13,13	34,7	9,14	34,8	9,39	16,9	8,6	46,8
27.04.09	12,77	32,1	9,59	14,0	10,16	21,3	8,56	30,9
29.04.09	11,78	8,6	9,33	20,0	10,01	9,1	8,47	40,4
30.04.09	11,7	14,2	9,45	13,4	10,12	23,6	8,6	36,0

Выводы

Чтобы предотвратить повторное загрязнение воды, необходимо провести следующие мероприятия:

первоначальные –

на прудах с толстым слоем радиоактивного ила спустить воду;

высушить слой ила до состояния предельно полевой влагоемкости;

произвести глубокую вспашку на глубину 40 см с переворотом пласта, чтобы верхний, наиболее радиоактивный слой оказался погребенным;

на поверхность перевернутого пласта нанести скрепляющий материал – известь в количестве 300 г/м² и цемент в количестве 600 г/м² (предпочтительно вносить цемент);

сразу после нанесения скрепляющего материала произвести рыхление на глубину 10...15 см;

увлажнить разрыхленный слой с помощью передвижной дождевальнoй техники;

на увлажненную поверхность нанести дополнительно тонкий слой скрепляющего материала из расчета 100...130 г/м² (увлажненный цементирующий материал в течение 3–4 сут должен схватываться);

пруд снова заполнить водой (*в опытах объем воды в сосудах незначителен по сравнению с объемом воды в пруду, поэтому рН в водоемах не будет выходить за пределы оптимального диапазона для гидробионтов*);

ежегодные –

можно частично спускать воду из пруда через донный водоспуск, чтобы уменьшить глубину воды и предупредить течение воды; на установившуюся водную поверхность и освободившуюся от воды площадь ложа нанести цемент;

в связи с внесением калийных удобрений и извести на сельскохозяйственных полях для снижения поступления цезия в продукцию растениеводства рекомендуется ежегодно проводить противоэрозийные мероприятия на водосборных площадях, чтобы снизить поступление растворившихся удобрений с поверхностным стоком в водоемы, где они интенсифицируют вторичное загрязнение воды радионуклидом цезия.

1. **Василенков С. В.** Диффузия цезия-137 в капиллярах ила и почвы // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 24–26.

2. Малые реки России / А. М. Черняев [и др.]. – Свердловск: Средне-Уральское книж. изд-во. – 1988. – 317 с.

3. **Марей А. Н.** Санитарная охрана водоемов от загрязнения радиоактивными веществами. – М.: Атомиздат, 1976. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 10.09.10.

Василенков Сергей Валериевич, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (483) 412-42-27

E-mail: poiuv@bgsha.com