

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Научная статья

УДК 631.438:626.81

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-6-14



УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ВОДЫ ПРИ ПРОМЫВКЕ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Василенков Сергей Валерьевич, д-р техн. наук, доцент;

SPIN-код: 3228-6401, ID-787096; vasilenkov_sergey@mail.ru

Брянский государственный аграрный университет, 243365, Брянская область, п. Кокино, ул. Советская 2а, Россия

Аннотация. Цель исследований – повышение эффективности оросительных мелиораций, мероприятий, направленных на снижение дозы внешнего и внутреннего облучения людей на радиоактивно загрязненных территориях, экономное и эффективное использование водных ресурсов, поиск или создание обильных и чистых от радиоактивного загрязнения источников орошения, применение их для очистки загрязненных цезием-137 почв – с учетом опасности пятнистого характера загрязнения территорий. Установлена необходимость более тщательного исследования и анализа в области использования водных ресурсов для промывки почв от радиоактивного загрязнения. Проанализированы удельные затраты воды при промывке почв от цезиевого загрязнения. Исследованы образцы почв, взятые в Новозыбковском, Гордеевском, Злынковском и других районах Брянской области, подвергшихся наибольшему радиоактивному загрязнению. Произведен общий анализ обеспеченности водными ресурсами Брянской области. Выявлено, что Новозыбковский район является высокозагрязненным, густонаселенным, и водных ресурсов в нем меньше, чем в других районах. Появляется острая необходимость экономии воды, и как следствие – необходимость применения химмелиорантов, которые снижают содержание Cs-137 в урожае в 5-7 раз и улучшают фильтрационные свойства почв. Промывку радиоактивно загрязненных почв необходимо практиковать на малых площадях в личных подсобных хозяйствах, использовать талые воды для промывки почв от цезиевого загрязнения. Обнаружено, что при формировании снежного покрова на водосборе замкнутого понижения скапливается мощный слой снега, который при таянии создает обильные промывные нормы, над площадью цезиевых пятен, на дне западин формирование такого промывного режима не требует больших затрат.

Ключевые слова: удельная активность, удельные затраты воды, цезий-137, промывка, замкнутые понижения, химмелиоранты, интенсификаторы вымыва, ультразвук, компрессор, скорость поглощения

Формат цитирования: Василенков С.В. Удельные затраты воды при промывке радиоактивно загрязненных почв // Природообустройство. 2023. № 4. С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-6-14.

© Василенков С.В., 2023

Original article

SPECIFIC WATER CONSUMPTION DURING WASHING OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED SOILS

Vasilenkov Sergey Valeryevich, doctor of technical sciences, associate professor

SPIN code: 3228-6401, ID-787096; vasilenkov_sergey@mail.ru

Bryansk State Agrarian University, 243365, Bryansk region, Kokino village, Sovetskaya str. 2a. Russia

Annotation. The purpose of the study is to increase the efficiency of irrigation reclamation, measures aimed at reducing the dose of external and internal radiation to people in radioactively contaminated areas.

The main purpose of our research is the economical and efficient use of water resources, the search or creation of abundant and clean sources of irrigation from radioactive contamination. Their use for the purification of soils contaminated with cesium-137, taking into account the danger of spotty nature of contamination of territories. The need for more thorough research and analysis in the use of water resources for washing soils from radioactive contamination has been established. The specific water consumption during soil washing from cesium contamination is analyzed. Soil samples taken in Novozybkovsky, Gordeevsky, Zlynkovsky and other districts of the Bryansk region, which were exposed to the greatest radioactive contamination, were studied. A general analysis of the availability of water resources in the Bryansk region is given. It was revealed that the Novozybkovsky district is highly polluted, densely populated and has fewer water resources than in other districts. There is an urgent need to save water and, as a consequence, the use of chemical meliorants, which reduce the content of Cs-137 in the crop by 5-7 times and improve the filtration properties of soils. Washing of radioactively contaminated soils should be practiced on small areas in private subsidiary farms, using meltwater to wash soils from cesium contamination. It was found that during the formation of snow cover, a powerful layer of snow accumulates in the catchment area of a closed depression, which, when melting, creates abundant washing norms, above the area of black spots, at the bottom of depressions, the formation of such a washing regime does not require large expenditures.

Key words: specific activity, specific water consumption, cesium-137, flushing, closed depressions, chemmeliorants, washout intensifiers, ultrasound, compressor, absorption rate

Format of citation: Vasilenkov S.V. Specific water consumption during washing of radioactively contaminated soils // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 4. P. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-6-14.

Введение. Водные ресурсы Брянской области характеризуются поверхностными водами рек, озер, прудов, водохранилищ и грунтовыми артезианскими водами.

Средняя густота речной сети составляет 330 км/км². Всего на территории Брянской области протекает 2867 рек [1]. Река Десна является самой крупной, но она протекает по восточной территории области, почти не загрязненной радионуклидами после аварии на ЧАЭС.

Радиоактивное загрязнение почв в юго-западных районах Брянской области уже давно волнует ученых из разных научных направлений, но до сих пор эта проблема является недостаточно изученной. В загрязненных районах Брянской области на юго-западе располагаются бассейны трех крупных рек: Ипуть, Беседи, Снов [2]. В таблице 1 представлена характеристика данных рек с их притоками, протекающих по области [2].

Площадь поверхностных водоемов в радиоактивно загрязненных районах составляет 10270 га, в том числе по районам области: Гордеевский – 1082 га; Злынковский – 611 га; Климовский – 1229 га; Клиновский – 1587 га; Красногорский – 3374 га; Новозыбковский – 1015 га; Стародубский – 1376 га [3].

Водными ресурсами Новозыбковский район обеспечен меньше других районов (р. Карна), и этот район является наиболее загрязненным и густозаселенным [4].

В юго-западных загрязненных районах области располагаются 7 крупных озер: Вихолка, Кожановское, Заломенье, Большое Жерино.

В Красногорском районе озеро Вихолка с площадью зеркала 182 га имеет объем воды 5460 тыс. м³, озеро Кожановское с площадью зеркала 40 га – 800 тыс. м³.

В Трубчевском районе расположено озеро Большое Жерино с площадью зеркала 70 га, которое имеет объем воды 1022,8 тыс. м³.

В Клиновском районе озеро Заломенье с площадью зеркала 35 га имеет объем 750 тыс. м³. Глубина воды озер в среднем составляет 2-3 м.

Таблица 1. Характеристика основных рек Брянской области

Table 1. Characteristics of the main rivers of the Bryansk region

Наименование рек и притоков Name of rivers and tributaries	Площадь водосбора, км ² Catchment area, km ²	Протяженность по области, км Length in the region, km
Ипуть / Iput	10694	290
Беседь / Talk	5460	76
Снов / Dreams	8700	125
Полонка / Polonka	213	28
Дороговша / Dorogovsha	253	40
Карна / Karna	110	24
Вихолка / Viholka	452	47
Вага / Vaga	446	32
Цата / Tsata	918	37
Ирпа / Irpa	339	38

Всего в радиоактивной зоне находится 209 водохранилищ и прудов.

Обеспеченность юго-западных районов Брянской области водными ресурсами представлена в таблице 2 [4].

В водоисточниках области, по данным других ученых и по результатам наших исследований, содержание цезия в растворенном виде не превышает нормы [5]. По имеющимся данным, уровни загрязнения речной воды в среднем за год колеблются в пределах 3-15 нКи/л, что значительно ниже как допустимой концентрации для питьевой воды 15000 нКи/л, так и норматива временно допустимых излучений (ВДУ) для цезия-137 (500 нКи/л) [2]. Незначительное превышение наблюдается, если в воде при взмучивании появляются взвешенные частицы. Мероприятия по очистке воды от взвешенных частиц были исследованы и изложены авторами в учебном пособии [6].

Несмотря на достаточное количество обильных водоисточников в Брянской области и пригодное качество этой воды как для орошения, так и для питьевого водоснабжения, все же использование поверхностных вод является весьма ограниченным. Холмистый рельеф и развитая овражно-балочная сеть в юго-западных и других районах Брянской области препятствуют переброске этих вод к потребителям. Поэтому здесь так развито использование подземных вод для

водохозяйственных нужд. В малых населенных пунктах и на приусадебных участках воду используют в основном из колодцев, водоемов-копаней, самодельных прудов.

Интерес представляет вопрос использования талых вод для промывки почв от цезиевого загрязнения. Поэтому в своих исследованиях мы ориентировались именно на доступный полезный объем и даем рекомендацию наиболее полно использовать талые снеговые воды централизованного водоснабжения для промывки радиоактивно загрязненных почв. Вообще водохозяйственная проблема малых населенных пунктов в Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является весьма острой. Своими исследованиями мы старались раскрыть в первую очередь именно эту проблему и наметить перспективу решения наиболее полного и качественного использования водных ресурсов для улучшения радиоэкологической обстановки в подобных регионах.

Цель исследований: экономное и эффективное использование водных ресурсов, поиск или создание обильных и чистых от радиоактивного загрязнения источников орошения, применение их для очистки загрязненных цезием-137 почв водосборных территорий, земель личных подсобных хозяйств и дачных участков, территорий малых населенных пунктов, участков земель, где находятся места отдыха, газоны, парки, места частого пребывания большого количества людей.

Главной задачей становится поддержание высокой эффективности выщелачивания цезия-137 из радиоактивно загрязненных почв. Необходим тщательный анализ применения различных химмелиорантов и интенсификаторов вымыва, которые не только способствуют снижению удельных затрат воды на вымыв 1Бк/кг, но и значительно увеличивают эффективность выноса цезия-137 из почв радиоактивно загрязненных территорий.

Материалы и методы исследований. В лабораторных условиях Брянского ГАУ проведен ряд опытов по промывке цезия-137 на дерново-подзолистых почвах с разными агрохимическими свойствами, разных по механическому составу и разных по степени загрязнения. Легкие дерново-подзолистые почвы, преобладающие на загрязненных территориях, отличаются преобладанием аэробных процессов, низким содержанием органической массы, невысокой емкостью поглощения, изменяющимся в широком диапазоне водным режимом. Почвы бедны поглощенными основаниями, рН солевой вытяжки

Таблица 2. Обеспеченность водными ресурсами по основным районным центрам в юго-западной части Брянской области

Table 2. Availability of water resources in the main district centers in the south-western part of the Bryansk region

Районные центры <i>District centers</i>	Водные ресурсы, тыс. м ³ /сут/ <i>Water resources, thousand m³ / day</i>		
	Всего <i>Total</i>	Поверхностные воды <i>Surface water</i>	Подземные воды <i>Underground water</i>
Климово / <i>Klimovo</i>	460,90	215,18	245,72
Клинцы / <i>Klintsy</i>	403,77	217,51	186,26
Унеча / <i>Unecha</i>	344,52	182,79	166,80
Красная гора <i>Red Mountain</i>	327,14	201,95	125,00
Сураж / <i>Surazh</i>	319,96	201,95	118,01
Новозыбков / <i>Novozybkov</i>	246,14	158,27	87,87
Гордеевка / <i>Gordeyevka</i>	230,92	148,25	82,62
Злынка / <i>Zlynka</i>	182,41	118,27	64,14

составляет ниже 5,0 и мало изменяется по профилю. В минеральном составе легких почвообразующих пород и образованных на них почв преобладает кварц – от 70 до 90%. Дерново-подзолистые почвы суглинистого механического состава поглощают в 2-3 раза больше радионуклида цезия, чем песчаные почвы [7].

Пробы радиоактивной почвы отбирались в загрязненных цезием-137 районах из верхнего 10-сантиметрового слоя почвы, где сосредоточивается наибольшее количество радионуклидов. Промывались супесчаные, песчаные и суглинистые почвы при имитации поливов затоплением (прибор Дарси) и дождеванием (специальный сосуд). Изучен особенный способ промывки почв при помощи капельного орошения, для чего было сконструировано специальное капельное устройство над прибором Дарси. Рассматривались почвы с разной удельной активностью – от 2000 до 12000 Бк/кг – с применением различных химмелиорантов и интенсификаторов и воды различного качества (дождевой, снеговой, водопроводной, из магистрального канала).

При промывке почв использовалось три способа подачи воды. При первом способе подача воды осуществлялась созданием постоянного напора воды над поверхностью почвы в приборе Дарси, потери напора определялись по показаниям пьезометров, расход фильтрации определялся объемным способом.

При применении второго способа подача воды производилась в виде дождя, периодическими поливами определенной нормы. Грунт для промывок размещался в сосуде диаметром $d = 10$ см, высотой 25 см. Дн сосуда содержало отверстия диаметром $d = 2$ мм для оттока и сбора дренажной воды. Поливной цикл длится в течение 5 сут. За сутки производился один полив и измерялся дренажный сток.

При использовании третьего способа выщелачивание цезия происходило при капельном орошении. Подача воды осуществлялась с помощью специального капельного устройства, установленного над поверхностью почвы. Почва засыпалась в прибор Дарси, продолжительность одного цикла составляла 5 сут. Подача воды регулировалась зажимом на капельном устройстве, один раз в сутки измерялся поданный и фильтрационный расходы объемным способом. При обработке результатов опытов использованы стандартные методики для устранения возможной среднестатистической ошибки [8].

Результаты и их обсуждение.

На основании данных, полученных в опытах,

были определены удельные затраты воды на вымыв 1 Бк/кг при промывке чистой водой, и с применением химмелиорантов и интенсификаторов вымыва, $\text{м}^3/\text{га}$ (табл. 3.1-3.3). Параллельно рассмотрено влияние на эффективность вымыва воды различного качества (типа): водопроводная, дождевая, снеговая, дистиллированная, навозные стоки, вода магистрального канала МК, известковое молоко (табл. 3.1-3.3). Эффективность вымыва определена по формуле:

$$\Theta = \frac{C_H - C_t}{C_H} \cdot 100\% [8],$$

где C_H – начальная удельная активность почвы перед промывкой, Бк/кг; C_t – текущая удельная активность почвы после цикла промывки, Бк/кг.

В опыте (табл. 3.1) [8] промывалась супесчаная почва с начальной удельной активностью 2303 Бк/кг, водопроводной водой при создании слоя воды на поверхности. Всего проведено 23 цикла. В 8 и 14 циклах внесли аммиачную селитру, что существенно снизило удельные затраты воды на вымыв 1 Бк/кг, они составили соответственно: в 8 цикле 763 $\text{м}^3/\text{га}$; в 14 цикле – 1083 $\text{м}^3/\text{га}$. В общем по опыту за 23 промывных цикла [8] удельные затраты воды на вымыв 1 Бк/кг составили 1332 $\text{м}^3/\text{га}$, а в циклах с 1 по 7, когда использовалась только чистая водопроводная вода, удельные затраты воды составили 2838 $\text{м}^3/\text{га}$ (табл. 3.1). В циклах с 7 по 17, когда активно применялся химмелиорант, удельные затраты воды составили 1612 $\text{м}^3/\text{га}$ (табл. 3.1). Как видим, без внесения химмелиорантов количество воды затрачивается в 2-3 раза больше. Наблюдалось также активное последствие от применения химмелиорантов.

В следующем опыте (табл. 3.1) [8] промывалась песчаная почва с начальной удельной активностью 11916 Бк/кг водопроводной водой. Проведено 15 непрерывных циклов по 4 сут. каждый. В 7 и 8 циклах этого опыта слой воды обрабатывался ультразвуком. В 9, 10, 11 циклах в слой воды нагнетался воздух с помощью компрессора, что не сказалось существенно на снижении удельных затрат воды, но повысилась эффективность вымыва за счет улучшения фильтрационной способности почвы. В цикле 12, 13, 14 вносился хлористый калий, и удельные затраты воды составили: в 12 цикле 425 $\text{м}^3/\text{га}$; в 13 цикле – 423 $\text{м}^3/\text{га}$; в 14 цикле – 391 $\text{м}^3/\text{га}$ (табл. 3.1).

В опыте после использования KCl затраты чистой воды снизились в 1,15 раза по сравнению затрат в циклах, когда химмелиоранты не применялись (табл. 3.1).

Таблица 3.1-3.3. Вымыв цезия-137 при разных способах полива – с использованием химмелиорантов и интенсификаторов
Table 3.1-3.3. Washing out of cesium-137 with different irrigation methods – using chemical ameliorants and intensifiers

Таблица 3.1

Table 3.1

№ п/п	Число циклов, № цикла Number of cycles, Cycle №	Промывка почв Soil washing		Удельные затраты воды на вымыв 1 Бк/кг, с применением чистой воды, с химмелиорантом и интенсификатором м ³ /га. The specific water consumption for washing out is 1 Bq / kg, with the use of pure water, with a chemical meliorant and an intensifier m ³ / ha.							Эффективность вымыва в % Washout efficiency in %	Примечания Note
		Объем внесенной воды, литры Volume of introduced water, liters	Снижение удельной активности Бк/кг Decrease in specific activity of Bc. / kg	Общие по опыту General by experience	Чистая вода Clean water	С внесением аммиачной селитры With the addition of ammonium nitrate	С внесением калия With the addition of potassium	Обработка ультразвуком Ultrasound treatment	Насыщение воздухом, компрессор Air saturation, compressor	Известковое молоко Lime, lime milk		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вымыв цезия созданием слоя воды на поверхности почвы Washing out the cesium by creating a layer of water on the soil surface												
1	17	2345,7	547	1612							23,8	Водопроводная Tap water
	до № 7	1457,3	193		2838						8,38	
	№ 8	1552,7	240			763					10,4	
	до № 13	2061,9	436		1777						18,9	
	№ 14	2128,2	519			1083					22,5	
2	до № 17	2345,7	547		1612						23,8	
	15	5141,3	2750	702,6							23,07	
	до № 6	2676,5	1245		808,1						10,4	Водопроводная Tap water
	№ 7	3034,2	1367					1102			11,47	
	до № 8	3353,2	1462					1262			12,27	
	№ 9	3671,1	1552						1313		13,02	
	№ 10	9961,5	1754						546,8		14,70	
	№ 11	4239,3	1889						768		15,05	
	№ 12	4433,9	2061				425,3				17,30	
	№ 13	4664,8	2266				423,4				19,02	
	№ 14	4880,4	2473				391,5				20,07	
	№ 15	5141,3	2750		702,6						23,08	

Примечание. Тип почвы: № 1 п/п – супесь, № 2 п/п – песчаная; начальная удельная активность: № 1 п/п – 2303 Бк/кг, № 2 п/п – 11916 Бк/кг; площадь фильтрации при промывке № 1-2 п/п – 0,0266 м².

Note. Soil type № 1 p/p – sandy loam, № 2 p/p – sandy; initial specific activity № 1 p/p – 2303 Bq/kg, № 2 p/p – 11916 Bq/kg; filtration area during washing № 1-2 p/p – 0.0266 m²

Очевидно, что применение интенсификаторов и хлористого калия влияет на снижение затрат воды и повышает темпы вымыва радионуклидов из почвы. Промывка почв способом затопления и созданием слоя воды на поверхности требует весьма больших затрат воды. Поэтому чтобы снизить их, в наших опытах использовались укороченные циклы промывки: по 0,5 сут. [8] и время по 9 ч [8] – без

применения химмелиорантов. Затраты воды на вымыв 1 Бк/кг могут достигать 60-120 м³/га, что значительно меньше, чем при промывках с 4-5-суточными циклами. Эффективность вымыва при этом также сохранялась высокой.

В опытах при периодических поливах дождеванием требуется гораздо меньше затрат воды на вымыв 1 Бк/кг, и с внесением химмелиорантов расходы воды снижаются

еще больше. Так, при промывке суглинистой почвы* (табл. 3.2) [8] с начальной удельной активностью 4159 Бк/кг при промывке дождевой и снеговой водой вносилась аммиачная селитра. Удельные затраты воды составили в 12 цикле 6,4 м³/га на 1 Бк/кг, а в 15 цикле – 16,5 м³/га. В 17 цикле применялась примесь навозных стоков с водой, и в общем по опыту удельные затраты составили 26,14 м³/га. С 1 по 11 циклы, когда использовали только дождевую и снеговую воду, на вымыв 1 Бк/кг потребовалось 38,46 м³/га. Внесение хлористого калия при промывке легкосуглинистой почвы (табл. 3.2) [8] показало примерно похожие результаты (в цикле 10 – 12,5 м³/га). Далее внесли аммиачную селитру, и получилось: в 11 цикле – 14,4 м³/га; в цикле 12 – 5,2 м³/га (расчет по второму нижележащему слою); в цикле 16 – 16,7 м³/га на 1 Бк/кг.

Непрерывная промывка на приборе Дарси в одном из опытов в течение 23 сут. показала, что при создании слоя воды на поверхности удельная активность снижается на 700 Бк/кг с учетом трех полусуточных циклов [8], а удельные затраты воды на 1 Бк/кг составили 1332 м³/га. При поливах же дождеванием удельные затраты не выдерживают никакого сравнения: в общем по опыту (табл. 3.2) [8] – 26 м³/га и 29 м³/га на 1 Бк/кг. Нужно отметить, что из легкосуглинистой почвы цезий выщелачивается труднее, чем из супесчаной.

При использовании капельного орошения для промывки почв от цезиевого загрязнения поставленные опыты вначале не давали удовлетворительных результатов. Чистая водопродная вода с очень низкой эффективностью выщелачивала цезий-137, и приходилось постоянно увеличивать капельный расход и удельные затраты воды, но с внесением извести пушонки (табл. 3.3) [8] в 8, 10, 13 циклах и в 15 цикле известкового молока (приготовленной разбавлением извести дистиллированной водой в соотношении 1 к 10) показатели улучшились в 2 и более раз. Так, внесение извести в 8 цикле снизило удельные затраты воды с 169,8 м³/га в первых 7 циклах до 70 м³/га.

Дальнейшее внесение извести и известкового молока (10, 13, 15 циклы) привело к снижению удельных затрат воды до 36 м³/га. С увеличением количества промывок растет эффективность вымыва цезия. После внесения извести эффективность выщелачивания Cs-137 составила: в 8 цикле – 3,78%; в 10 – 5,81%; в 12 – 8,73%; в 13 – 10,1%. В 15 цикле после внесения известкового молока эффективность составляла 13,99%. (В данном случае все показатели представлены нарастающим итогом за все циклы опыта.). В опыте использовалась легкосуглинистая почва, и опять эффект от воздействия химелиорантов проявлялся не сразу.

Таблица 3.2

Table 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вывыв цезия периодическими поливами, дождеванием / Washing out cesium by periodic watering, sprinkling												
3	17	31,05	1513	26,14							36,4	
	до № 11	18,45	611		38,46						14,7	дождевая вода / rainwater
	№ 12	20,45	1007			6,43					24,9	дистиллированная / distilled
	до 14	24,45	1132		27,51						27,2	
	№ 15	26,65	1302			16,5					31,3	
	№ 16	29,05	1359		27,23						32,7	
4	№ 17	31,05	1513		26,14						36,4	навозные стоки / manure drains
	16	28,2	1221	29,42							28,8	
	до № 9	14,6	456		40,8						10,7	дождевая / rainwater
	№ 10	16,4	639				12,5				15,1	снеговая / snow water
	№ 11	18,2	798			14,4					18,8	
	№ 12	20,0	790			5,2					18,6	
	№ 13	22,0	821		34,13						24,1	
	№ 14	24,0	939		32,56						22,2	вода магистрального канала МК water of the MK main canal
№ 15	26,0	1053		31,45						24,9	дистиллированная / distilled	

*Примечание. Тип почвы № 3-4 п/п – легкий суглинок, начальная удельная активность № 3 п/п – 4159 Бк/кг, № 4 п/п – 4234 Бк/кг; площадь фильтрации при промывке № 3-4 п/п – 0,00785 м².

*Note. Soil type № 3-4 p/p – light loam, initial specific activity № 3 p/p – 4159 Bq/kg, № 4 p/p – 4234 Bq/kg; filtration area during washing № 3-4 p/p – 0.00785 m².

Таблица 3.3 /

Table 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Выщелачивание цезия при капельном орошении, на «Дарси» / Cesium leaching by drip irrigation, on «Darcy»												
5	15	61,411	639	36,1							13,99	
	До № 7	28,462	63		169,8						1,34	Водопроводная вода <i>Tap water</i>
	№ 8	32,964	177							70,0	3,78	
	№ 9	37,909	195		73,08						4,16	
	№ 10	42,026	272							58,1	5,81	
	до № 12	51,406	409		47,3						8,73	
	№ 13	55,606	473							44,2	10,1	
	№ 14	59,026	514		43,17						10,98	
№ 15	61,411	639							36,3	13,99	Известковое молоко <i>Lime milk</i>	

***Примечание.** Тип почвы № 5 п/п – Суглинок легкий, слой почвы-2(нижний), начальная удельная активность № 5 п/п – 4682 Бк/кг; площадь фильтрации при промывке № 5 п/п – 0,0266 м².

***Note.** Soil type № 5 p/p – The loam is light, the soil layer is 2 (lower), initial specific activity № 5 p/p – 4682 Bq/kg.; filtration area during washing № 5 p/p – 0.0266 m².

Эффективность вымыва цезия-137 при любом способе промывки в зависимости от количества профильтрованной воды и действия химмелиорантов и интенсификаторов имеет тенденцию постоянного увеличения [8].

Для сравнения рассмотрим промывку солонцовых почв чистой водой, которая происходит с затруднением по причине их способности к набуханию и снижения фильтрационных свойств почвы. Необходимо внесение химмелиорантов в виде растворимых солей кальция, кальциевой селитры, хлористого кальция и солей соляной, серной кислот, которые улучшают свойства почвы. Щелочную реакцию на содовых солонцах устраняют, применяя кислоты. Серную кислоту распространяют в почве с водой концентрацией 0,8-1%. По рекомендациям Азербайджанского гидротехнического института, при промывке тяжелых карбонатных почв дозы соляной кислоты составляют: для слоя 0-0,05 м – 13-20 т/га; для слоя 0-1 м – 27-34 т/га; для слоя 0-1,5 м – 47-54 т/га.

По данным Б.Н. Анненкова и др. [9], внесение в почву различных солей (раствора соляной кислоты, солей железа, натрия, калия и др.) способствует снижению радионуклидов в урожае в 5-7 раз. Но, по мнению этих авторов, такой способ очистки почв на больших площадях является неприемлемым. Применение подобного метода очистки почв от радионуклидов на малых площадях до 25 га (в личном подсобном хозяйстве) никто не запрещает, и поэтому он и рекомендуется автором [8].

Для примера выполним расчет обеспеченности водой замкнутого понижения с площадью

водосбора 5 га и площадью цезиевого пятна в центре на дне понижения 0,04 га. В западных районах Брянской области средний слой осадков за зимний период составляет 210 мм [10]. В западинах обычно формируется мощный слой снежного покрова за счет переноса снега ветром с повышенных элементов рельефа. Можно увеличить количество воды, перебросив талый сток с прилегающих водосборов, пользуясь колесом трактора в снегу как собирателем. Стекая по склону, талые воды двигаются по плужной подошве по иллювиальному горизонту по гумусовоаллювиальному барьеру, который является характерной особенностью почв полесья.

Допустим, что на водосборе площадью 5 га за зиму образовался слой снега, который весной создает слой воды 420 мм. Общий объем воды составит 50000 м² × 0,42 м = 21000 м³. Если созданный объем воды разделить на площадь цезиевого пятна 0,04 га, то поливная норма будет равной 525000 м³/га. При выполнении осенью глубокого рыхления цезиевого пятна только наполовину промывная норма увеличивается в 2 раза и может стать равной 1050000 м³/га.

Такая величина промывных норм резко отличается от высоких норм, применяемых для промывки засоленных почв, – 25-45 тыс. м³/га. В приведенном примере высокие нормы создаются самой природой при минимуме затрат, и наша задача заключается в том, чтобы при регулировании процесса добиться обеспечения максимальных темпов вымыва при использовании обилия воды.

В опытах, проведенных в лабораторных условиях, проверяя действие повышенных промывных норм, установили, что количество вымыва цезия за один полив зависит не столько от разовой промывной нормы, сколько от скорости фильтрационного поглощения воды почвой [8]. Имитация промывки почвы в замкнутых понижениях весной при создавшемся напоре тальми водами изучалась нами в лаборатории на приборе Дарси при увеличенном напоре воды до 30 см на поверхности супесчаной почвы. Средний фильтрационный расход в опыте с полусуточными циклами [8] без предварительного замачивания промываемой почвы колеблется от 3,8 до 5,4 см³/с, от 0,9 до 1,25 см³/с.

Таким образом, обобщенные и проанализированные нами опыты показали, насколько экономным и эффективным может быть использование воды при промывках почв от цезиевого загрязнения. Химическим мелиорантам и интенсификаторам значительное внимание уделено нами неспроста – их влияние на фильтрационные свойства почв и вынос радиоактивных элементов наглядно показывают, каким может быть промывной режим почв без ущерба выноса полезных питательных элементов, минералов за пределы почвенного горизонта с параллельной миграцией загрязняющих компонентов в нижележащие слои.

Качественное использование воды вместе с химмелиорантами и интенсификаторами позволит решить проблему промывки почв от цезиевого загрязнения, повысить эффективность оросительных мелиораций с минимумом затрат, не обедняя при этом почвы, как для Брянской области, так и для других регионов, требующих развития эффективных мелиоративных технологий.

Список использованных источников

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер. Т. 5. Ч.1. Белоруссия и Поднепровье. Л.: Гидрометеоздат, 1971. С. 153-169.
2. Вакуловский С.М. Загрязнение цезием-137 и стронцием-90 водных объектов на территории, подвергшейся воздействию выбросов аварийного блока ЧАЭС // Метеорология и гидрология. 1991. № 7. С. 64-73.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер. Т. 5. Ч.1. Белоруссия и Поднепровье. Л.: Гидрометеоздат, 1967. С. 277-285.
4. Вакуловский С.М. Загрязнение цезием-137 и стронцием-90 водных объектов Российской Федерации в зоне влияния аварийного выброса ЧАЭС // Метеорология и гидрология. 1996. № 4. С. 19-24.
5. Николаев Г.К., Роговой В.К. Перспективы использования поверхностных вод в Брянской области / [Сб. ст.] Рациональное природопользование на территории Брянской области. М.: МФГО, 1983. С. 24-34.

Выводы

1. Затраты воды на промывку без внесения химмелиорантов в 2-3 раза выше, чем на промывку с химмелиорантами. При поливах дождеванием удельные затраты воды являются минимальными и не выдерживают никакого сравнения с затоплением 29 м³/га, 26 м³/га на 1 Бк/кг.

2. Содержание цезия в растворенном виде в водоисточниках Брянской области не превышает нормы. Превышение наблюдается, если в воде появляются взвешенные вещества. Необходимы мероприятия по очистке воды от взвешенных наносов.

3. Зимой на водосборе замкнутого понижения промывная норма является весьма высокой. Эти нормы создаются самой природой, и наша задача заключается в том, чтобы регулировать процесс и обеспечивать максимальные темпы вымыва цезия-137 из почвы. Величина вымыва зависит от скорости фильтрационного поглощения воды почвой. Для увеличения фильтрационного расхода необходимо проводить глубокое рыхление цезиевого пятна.

4. Активность химмелиорантов на почвах с высокой радиоактивностью будет выше и поэтому удельные затраты воды на извлечение 1 Бк/кг будут ниже, чем на менее загрязненных почвах, несмотря на то, что степень извлечения цезия из более загрязненных почв характеризуется более низкими показателями.

5. Вынос цезия-137 из почвенного горизонта происходит и при обычных, непромывных поливах, при несоблюдении технологии подачи поливных норм. Знания об удельных затратах воды на вынос цезия позволят лучше скорректировать технологию применения оросительных мелиораций.

References

1. Surface water resources of the USSR. Description of rivers and lakes. V. 5. Belarus and the Dnieper. Ch.I. L.: Gidrometeoizdat, 1971. P. 153-169.
2. Vakulovskij S.M. Pollution with cesium-137 and strontium – 90 water bodies in the territory affected by emissions from the emergency block of the Chernobyl nuclear power plant // Meteorology and hydrology. 1991. № 7. P. 64-73.
3. Surface water resources of the USSR. Description of rivers and lakes. V. 5. Belarus and the Dnieper. Ch.I. L.: Gidrometeoizdat, 1971. P. 277-285. 1967.
4. Vakulovskij S.M. Pollution with cesium – 137 and strontium – 90 water bodies of the Russian Federation in the zone of influence of the accidental release of the Chernobyl nuclear power plant // Meteorology and hydrology. 1996. № 4. P. 19-24.
5. Nikolaev G.K., Rogovoy V.K. Prospects for the use of surface waters in the Bryansk region // [Sat. art.] Rational

6. **Василенков В.Ф., Василенков С.В., Козлов Д.В.** Водохозяйственная радиология: учебное пособие. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. 413 с.

7. **Ставрова Н.Г.** Факторы эффективности применения удобрений на песчаных дерново-подзолистых почвах с разной мощностью песчаного слоя: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1972. 190 с.

8. **Василенков С.В.** Водохозяйственные реабилитационные мероприятия на радиоактивно загрязненных территориях: монография. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. 290 с.

9. **Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В.** Основы сельскохозяйственной радиологии: учеб. пособие. М.: Агрпромпиздат, 1991. 286 с. ISBN5-10-001803-8

10. **Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф.** Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2006. 432 с.

11. **Маркелов С.В., Малухин Н.Г., Лобанов П.Д.** Ресурсосбережение и экология в процессах инженерной геотехнологии при освоении урановых месторождений // М.: НИТАОС, ВИНТИ, 2003. № 6. С. 3-95.

12. Химические формы нахождения долгоживущих радионуклидов и их трансформация в почвах зоны аварии на ЧАЭС / Ц.И. Бобовникова, Е.П. Варченко, А.В. Коноплев и др. // Почвоведение. 1990. № 10. С. 20-25.

13. **Бондаренко Н.Ф.** Физические основы мелиорации почв. Л.: Колос, 1975. 258 с.

14. **Бондарь П.Ф., Шмаай Г.С., Ярмолович Т.Л.** Исследования подвижности радионуклидов в почве и их потенциальной доступности растениям ионообменным методом // Почвоведение. 1995. № 6. С. 714-717.

15. **Булгаков А.А., Коноплева А.В., Попов В.Е. и др.** Механизм вертикальной миграции долгоживущих радионуклидов в почвах 30-километровой зоны ЧАЭС // Почвоведение. 1990. № 10. С. 14-39.

16. **Анненков Б.Н.** Итоги исследований по радиобиологии и радиоэкологии сельскохозяйственных животных // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1996. № 4. С. 15-25.

nature management in the territory of the Bryansk region. Moscow, MFGO, 1983. P. 24-34.

6. **Vasilenkov V.F., Vasilenkov S.V., Kozlov D.V.** Water management Radiology: Textbook. M.: FGOU VPO MGUP, 2009.413 p.

7. **Stavrova N.G.** Factors of efficiency of fertilizer application on sandy sod-podzolic soils with different thickness of the sand layer. Candidate of agricultural sciences / N.G. Stavrova – M., 1972. 190 p.

8. **Vasilenkov S.V.** Water rehabilitation measures in radioactively contaminated territories: Monograph. M.: FGOU VPO MGUP, 2009. 290 p.

9. **Annenkov B.N., Yuditseva E.V.** Fundamentals of agricultural radiology: studies. stipend. Moscow: Agropromizdat, 1991.286 p. ISBN5-10-001803-8

10. **Belous N.M., Shapovalov V.F.** Productivity of arable land and rehabilitation of sandy soils. Bryansk: Publishing house Bryansk GAA, 2006. 432 p.

11. **Markelov S.V., Malukhin N.G., Lobanov P.D.** Resource saving and ecology in the processes of engineering geotechnology in the development of uranium deposits. M.: NITAOOS, VINITI, 2003. – No 6. P. 3-95.

12. Chemical forms of finding long-lived radionuclides and their transformation in the soils of the Chernobyl accident zone / Ts.I. Bobovnikova E.P. Varchenko, A.V. Konoplev et al. // Soil Science. 1990. № 10. P. 20-25.

13. **Bondarenko N.F.** Physical foundations of soil reclamation. Leningrad: Kolos, 1975. 258 p.

14. **Bondar` P. F., Shmaaj G.S., Yarmolovich T.L.** Studies of the mobility of radionuclides in the soil and their potential accessibility to plants by the ion-exchange method. 1995. № 6. P. 714-717.

15. The mechanism of vertical migration of long-lived radionuclides in the soils of the 30-kilometer zone of the Chernobyl nuclear power plant / A.A. Bulgakov, A.V. Konopleva, V.E. Popov et al. // Soil Science. 1990. № 10. P. 14-39.

16. **Annenkov B.N.** Results of research on radiobiology and radioecology of agricultural animals. // Bulletin of the Russian academy of agricultural sciences. 1996. № 4. P. 15-25.

Критерии авторства

Василенков С.В. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись. Василенков С.В. имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 02.03.2023

Одобрена после рецензирования 18.07.2023

Принята к публикации 18.07.2023

Criteria of authorship

Vasilenkov S.V. carried out theoretical research, on the basis of which he carried out a generalization and wrote a manuscript. Vasilenkov S.V. has copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 02.03.2023

Approved after review 18.07.2023

Accepted for publication 18.07.2023