

## Выводы

1. Причиной засоления ирригационно-гидроморфных почв Южного Урала является изменение естественного водного режима автоморфных чернозёмов под влиянием орошения в условиях недостаточной дренированности территории. Инфильтрационные потоки влаги за пределы биологически активного слоя этих почв обуславливают ирригационный подъём УГВ и капиллярно восходящее движение солевых растворов к испаряющей поверхности.

2. Прирост солей в биологически активном слое ирригационно-гидроморфных почв тесно связан с объёмом капиллярного притока солевого раствора из ГВ, критическая глубина которых находится в пределах 164...200 см. Засоление ирригационно-гидроморфных почв происходит под влиянием накопления хлоридов и сульфатов натрия.

3. В орошаемой лугово-чернозёмной почве со сравнительно низким УГВ капиллярный приток влаги имеет место в ограниченный период времени, именно при смыкании КК с биологически активным слоем почвы. В результате этого привнос солей невелик и почва остается незасоленной. В орошаемой луговой почве КК внедряется в биологически активный слой и объём поступления солей заметно возрастает. Максимальное поступление влаги и солей из ГВ наблюдается при условии смыкания КК грунтовых вод с дневной поверхностью, что характерно для влажно-луговой почвы.

4. Уменьшение ресурса водообеспеченности обуславливает усиление притока солей из ГВ при всех УГВ. Так, при УГВ = 1 м поступление солей при обеспеченности осадков  $P = 5\%$  составляет 6,78 т/га, при  $50\%$  – 9,8 т/га и при  $P = 95\%$  – 13,32 т/га. Аналогичная закономерность наблюдается и при УГВ = 1,5...2 м. При понижении УГВ до 2 м поступление солей из ГВ в биологически активный слой почв резко сокращается. Так, при  $P = 5\%$  и УГВ = 2 м оно понизилось до 0,1 т/га.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых почв. – М.: Колос, 1978.
2. Гедройц К.К. Избранные сочинения. Том 1. – М.: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1955.

3. Егоров В.В. Засоление почв и их освоение. – М.: Изд-во АН СССР, 1954.

4. Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. – М.: Колос, 1974.

5. Минашина Н.Г. Токсические соли в почвенном растворе, их расчет и классификация по степени засоления // Почвоведение. – 1970. – №8.

6. Ганов Г.А. Мощность биологически активного слоя чернозема обыкновенного // Сб. научн. тр. Вып.1. – Челябинск, 1999.

7. Полынов Б.Б. Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1956.

УДК 504.53.06

## РЕЖИМ ПРОМЫВКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЁНЫХ ЗЕМЕЛЬ ОТ ЦЕЗИЯ

С.В. ВАСИЛЕНКОВ, канд. техн. наук  
(Брянская ГСХА)

Как известно, радиоактивные элементы находятся в почве в виде водорастворимых соединений в сорбированном состоянии, из которого они могут переходить в почвенный раствор по механизму ионного обмена, в необратимо сорбированном виде, переходящим при определенных условиях в обратимые, и прочно стабильные фракции, при обычных условиях не переходящие в подвижное состояние. Основная стадия процесса растворения, десорбции ионов происходит в слое связанной воды – на границе контакта с почвенными коллоидами [1]. Связанная вода является барьером для перехода ионов из твердой фазы в свободную воду, и их подвижность на границе раздела фаз зависит от плотности почвенного раствора. Плотность связанной воды достигает 1,2...1,8 г/см<sup>3</sup>, вязкость – 0,8 ПЗ, диэлектрическая постоянная 2...3 [2]. Отсюда следует, что для промывки почв, загрязнённых радиоактивными элементами, необходимо создавать такой гидравлический режим фильтрации, который разрушал бы структурированный слой связанной воды, заменяя его быстрым беспорядочным движением частиц воды, и ускорял медленную диффузию молекул радионуклидов.

Наши опыты по промывке почвы, образцы которой были отобраны на

территории п. Колодезский (зона отселения после аварии на Чернобыльской АЭС) в Новозыбковском районе Брянской области, проводились на приборе Дарси. Почва дерново-подзолистая, песчаная, пылеватая, наиболее распространенная в районах радиоактивного загрязнения области. Начальное содержание цезия-137 в образцах почвы – от 2300 до 11300 Бк/кг. До настоящего времени 95 % радионуклида не выходит за пределы верхнего слоя почвы (5...7 см), поэтому при опытах промываемые слои почвы принимались равными 3; 4; 4,5; 5 и 5,5 см. Предварительно почву высушивали, измельчали, просеивали через сито с отверстиями диаметром 1 мм, определяли плотность в насыпанном виде и без уплотнения засыпали в прибор Дарси.

Промывку вели по циклам одинаковой продолжительности (4 – 5 сут) с перерывами для высушивания почвы и определения её радиоактивности. На поверхности почвы автоматически поддерживался постоянный слой воды (5 см). Число циклов в разных опытах составляло от 4 до 23. В каждом цикле объёмным способом ежедневно измеряли расход фильтрующейся воды, потери напора и по этим данным рассчитывали скорость фильтрации и градиент напора.

В результате опытов было установлено, что от цикла к циклу скорость фильтрации уменьшается, растёт градиент напора, плотность почвы увеличивается и соответственно уменьшается пористость. Причем плотность верхних слоёв становится больше, чем нижних. Объяснить это можно тем, что подаваемая в прибор (сверху) водопроводная вода содержала гидрат окиси железа  $Fe(OH)_3$ , поэтому при фильтрации она оставляет его коллоиды в основном в верхнем слое. Кроме того, тонкие пылеватые и глинистые частицы отрываются при высоких скоростях фильтрации от стенок пор и капилляров, транспортируются вниз, снижая пористость почвы. И, наконец, изначально сухая насыпная почва уплотняется под действием воды, распада почвенных агрегатов и разбухания коллоидов, которые заполняют поры и капилляры.

Для выяснения режима движения фильтрационного потока при наших

опытах использовали уравнение Прони:

$$J = Av + Bv^2, \quad (1)$$

где  $J$  – градиент напора;  $v$  – скорость фильтрации;  $A$  и  $B$  – коэффициенты.

Если представить экспериментальные данные в виде зависимости  $J/v = f(v)$ , то в случае ламинарного течения на графике получим прямую, параллельную оси абсцисс, а при турбулентном – наклонную, выходящую из начала координат. Однако в наших опытах все графики оказались в виде вогнутых кривых, если использовать для их построения средние за цикл значения скорости фильтрации и гра-

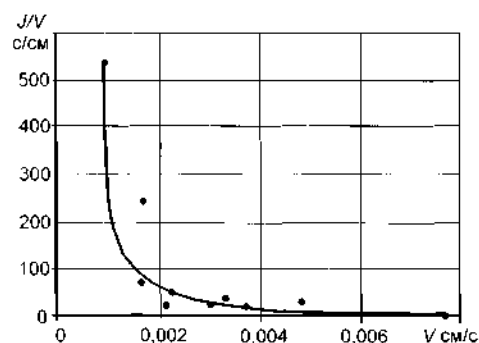


Рис. 1. Зависимость  $J/v = f(v)$  для первого дня каждого цикла промывки почвы от цезия

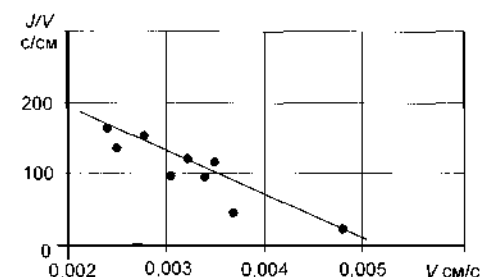


Рис. 2. Зависимость  $J/v = f(v)$  для последнего дня каждого цикла промывки почвы

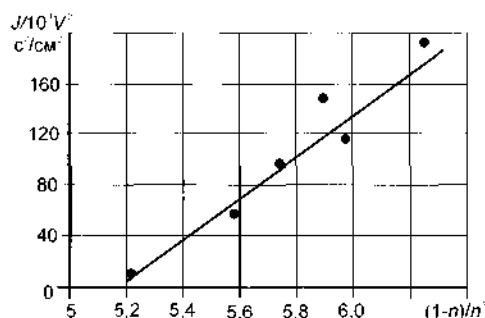


Рис. 3. Зависимость  $J/v^2 = f((1-n)/n^2)$  для первого дня каждого цикла промывки почвы

диента напора (рис. 1). Следует отметить, что такой вид графиков характерен также для первого дня каждого цикла, но опытные точки последнего дня группируются возле прямых линий во всех опытах. Причём прямая линия отсекает отрезки и на ординате, и на абсциссе (рис. 2).

Как известно, при ламинарном и турбулентном течении жидкости потери напора в трубах определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_t = \lambda(l/d)(v^2/2g), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления (гидравлического трения);  $l$ ,  $d$  – длина и диаметр трубы.

Для ламинарного режима течения

$$\lambda = 64\nu/dv = 64/Re,$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;  $Re = vd/\nu$  – число Рейнольдса.

Для определения коэффициента  $\lambda$  при турбулентном режиме имеется большое число эмпирических и полуэмпирических формул, в общем случае отражающих зависимость  $\lambda$  от числа Рейнольдса и шероховатости стенок труб или русел.

Для коэффициента сопротивления в поровом канале (капилляре)  $\lambda_{кан}$ , имеется формула Н. Эргуна [2]:  $\lambda_{кан} = 133/Re_{кан} + 2,34$ , (4) где  $Re_{кан} = v_{кан}d_{кан}/\nu$ .

Действительная скорость движения воды в почвенных капиллярах  $v_{кан} = v/n$ , где  $n$  – пористость в долях единицы (нам представляется, что в данных исследованиях нужно использовать общую пористость);  $v$  – фиктивная скорость движения жидкости (если бы поперечное сечение потока было свободно от почвенных частиц).

Диаметр почвенных капилляров можно выразить через диаметр частиц почвы и пористость. Используя формулу для высоты капиллярного поднятия А.А. Черкасова [3]:  $h_c = 0,45(1-n)/nd_{10}$  и уравнение Жюрена –  $h_c = 0,3/d_{кан}$ , находим диаметр капилляра:

$$d_{кан} = 2d_{10}n/3(1-n),$$

где  $d_{10}$  – эффективный диаметр частиц почвы.

Тогда  $Re_{кан} = 2Re/3(1-n)$ , где  $Re = vd_3/\nu$ ;  $d_3$  – диаметр зёрен грунта, и формула Эргуна принимает следующий вид:

$$\lambda_{кан} = 200(1-n)/Re + 2,34. \quad (5)$$

Учитывая (5), уравнение Дарси-Вейсбаха преобразуется:

$$J = 150(1-n)^2\nu v/(n^3d_3^2g) + 1,775(1-n)v^2/(n^3d_3g). \quad (6)$$

Это уравнение по структуре похоже на двучленный закон гидравлического сопротивления Прони, в котором первое слагаемое определяет ламинарный характер движения воды, второе – турбулентный.

Как видно из формулы (6), режим фильтрации зависит от пористости почвы, диаметра зерен, кинематической вязкости воды. Если эти величины меняются в процессе фильтрации, то зависимость  $J/v = f(v)$  не будет линейной, что мы и наблюдаем в наших опытах.

На рисунке 3 приведен график, построенный для второго слагаемого уравнения (6).

Как видно из графика, режим течения фильтрующегося потока в первый день каждого цикла промывки почвы соответствует турбулентному (выше отмечалось, что в прибор Дарси укладывали высушенную разрыхленную почву). В процессе промывки почва уплотнялась и к концу цикла режим фильтрации становился ламинарным. Соответственно в первые циклы промывки наблюдалась высокая эффективность вымыва цезия; затем она постепенно снижалась во времени от цикла к циклу.

На почвах с начальной радиоактивностью  $C_n = 11916$  Бк/кг вымыв в первом цикле был в 12,5 раза выше, чем в шестом, при  $C_n = 9166$  Бк/кг вымыв снижался в 5,5 раза, при  $C_n = 2326$  Бк/кг – в 1,5 раза.

Таким образом, оптимальный режим промывки почв от цезия должен заключаться в частых, кратковременных, интенсивных поливах с перерывами на просушивание верхнего слоя и его рыхление.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. – Л.: Гидрометеозиздат, 1965.
2. Маркелов С.В., Малухин Н.Г., Лобанов П.Д. Ресурсосбережение и экология в процессах инженерной геотехнологии при освоении урановых месторождений // НиТАООС, № 6. – М.: ВИНТИ, 2003.
3. Черкасов А.А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Изд. 4. – М.: Сельхозиздат, 1958.