

*Джураев А.М., Бийбосунов А.И.*

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ СОЛЕПЕРЕНОСА В ПОЧВАХ**

*A.M. Djurayev, A.I. Biibosunov*

**ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF THE PROCESS OF SALT TRANSFER IN SOILS**

УДК: 631.6.13

*В статье говорится о том, что борьба с засолением – это старая проблема ирригации, которая по настоящее время еще не решена. Его успешное решение во многом зависит от наличия количественного описания процессов передвижения солей в почве и воды на орошаемых массивах.*

**Ключевые слова:** ирригация, почва, вода, климат, грунтовые воды, модель, гидродинамика.

*The article States that the salinity control – this is an old problem of irrigation, which is currently still not resolved. Its successful solution largely depends on the availability of quantitative descriptions of processes of movement of salts in soil and water on irrigated Massey-wah.*

**Key words:** irrigation, soil, water, climate, ground water, model, hydrodynamics.

Сложность процессов и систем, с которыми имеет дело земледелие, гораздо более высока чем в промышленном комплексе. Чудновский А.Ф. писал «... ни в одном промышленном процессе мы не встречаемся со столь причудливым, случайным положением огромного числа факторов, которые действуют в полевых условиях при формировании урожаев сельскохозяйственных культур». С увеличением сложности процессов неизмеримо больше возрастает трудность управления ими в нужном для хозяйства направлении. Вот почему развитие сельского хозяйства отстает от промышленности. Трудность исследования заключается в том, что поля занимают большие площади, земледелие имеет дело с огромной массой вещества, рассеянной энергией, процесс почвообразования обладает косностью, определенной консервативностью по отношению к управляющему воздействию. Отставание сельского хозяйства объясняется еще и тем, что оно опирается на биологические, геолого-географические науки, которые носили описательный характер т.е. выдавали в основном качественную информацию.

В настоящее время, перспективно применение автоматики в орошаемом земледелии. Регулируя содержание влаги в почве, можно одновременно воздействовать на тепловой, воздушный и солевой режимы почв. Для избежания отрицательных последствий орошения – вторичного засоления, переувлажнения почв, необходимо пользоваться некоторыми мелиоративными приемами [4,5]. К ним относятся искусственный дренаж, промывки, специальная агротехника. Борьба с засолением – это старая проблема ирригации, которая по настоящее время еще не решена. Его успешное решение во многом зависит от наличия количественного описания

процессов передвижения солей в почве и воды на орошаемых массивах [6,8]. Только такое описание дает возможность уверенного прогнозирования и оптимального управления им.

На процесс засоления влияет множество факторов окружающей среды. Для успешного исследования процесса засоления необходимо выделить главные факторы, обуславливающие направленность процессов «засоления – рассоления». Таких факторов три: интенсивность испарения, интенсивность фильтрации, энергия потока грунтовых вод. Не останавливаясь на этих факторах подробно, знаем, что все они зависят от климата, типа почв, растительностей, глубиной залегания и энергией потока грунтовых вод, хозяйственной деятельностью человека. Причем все эти факторы можно исчислять численно, т.е. миграцию солей можно рассматривать и с количественной стороны. В работах [3,6] даны анализы существующих математических моделей процессов солепереноса в почве, основанных на закономерностях физико-химической гидродинамики пористых сред, критический анализ научных исследований по вопросам конвективной диффузии, растворения солей, сорбции и ионного обмена в горных породах. Здесь также рассмотрены дифференциальные уравнения, которые описывают процессы миграции солей, приводятся методы определения параметров.

В работе [7] дана попытка вскрыть механизм движения солей в почве и показать количественное взаимодействие факторов. При этом он использует следующее уравнение, для расчета увеличения минерализации грунтовых вод  $UC_x = -\gamma C^n$ , где  $U$  – скорость испарения грунтовых вод,  $C$  – концентрация солей,  $V$  – коэффициент диффузии,  $x$  – координата, направленная вниз,  $t$  – время,  $n = 0; 0,5; 1$ .

Автором работы [9], при исследовании фильтрации жидкостей через пористую среду в условиях их физико-химического взаимодействия, рассмотрено совместно уравнения фильтрации и солепереноса. Математическая модель, составленная им представляет собой замкнутую систему дифференциальных уравнений, которые описывают фильтрацию воды в грунте (по закону Дарси и уравнению неразрывности потока), а также уравнению солевого баланса для потока грунтовых вод при наличии вертикальной и горизонтальной составляющих вектора скорости фильтрации

$$V_x = -kH_x, \quad V_y = -kH_y, \text{ - уравнения Дарси,}$$

$$V_{xx} + V_{yy} = 0 \text{ - уравнение неразрывности,} \quad (1)$$

$$V_{xx} + V_{yy} + \gamma\mu(C_0 - C) = \mu C_t \text{ - уравнение солевого баланса,} \quad (2)$$

где  $V_x = -u_x C + \mu DC_x$ ,  $V_y = -v_y C + \mu DC_y$  - составляющие вектора скорости потока. При некоторых ограничениях, накладываемых на коэффициенты влаго- и солепереноса, а также допущениях, не противоречащих физике процесса, решение указанной системы уравнений сводится к решению следующего уравнения

$$\mu \tilde{N}_t = \mu D(C_{xx} + C_{yy}) - u_x C_x - v_y C_y + \gamma \mu (C_0 - C), \quad (3)$$

где  $u_x, v_y$  - компоненты вектора скорости фильтрации  $V$ , соответствующие осям  $Ox$  и  $Oy$  и определяемые из уравнения фильтрации,  $D$  - коэффициент диффузии,  $C_0$  - концентрация солей в растворе,  $\gamma$  - константа растворения,  $\mu$  - пористость грунта,  $x, y, t$  - соответственно плоские и временная координаты. Уравнение (3) описывает движение солей в водонасыщенном грунте и широко известно в теории миграции солей и влаги. Оно справедливо для несжимаемой жидкости и наличия фильтрации и диффузии в направлениях осей  $Ox$  и  $Oy$ .

Для устойчивого засоления (рассоления) почв при малом содержании солей, находящихся в твердой фазе, в [1] было получено решение уравнения

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial (vC)}{\partial x} = 0$$

с условиями  $D^*C_x + vC = 0$  при  $x = 0$  и  $C = C_h$  при  $x = h$ .

При этом скорость конвективного переноса инфильтрационных вод  $V$  принималось постоянной независимой от влажности почвы в пределах рассматриваемой зоны. Граничные условия общеизвестны т.е.  $D^*$  - среднее значение коэффициента конвективной диффузии солей в зоне аэрации. Первое условие говорит об изолированности ( $x = 0$ ) для потока солей в атмосферу, а второе задает постоянную во все время протекания процесса концентрации на границе области ( $x = h$ ).

Если рассматривается неглубокое залегание грунтовых вод, когда все соли выносятся в верхние слои почвы, то переноса солей при наличии испарения концентрация в них будет близкой к концентрации насыщения, т.е.  $C = C_n$  - имеющим место на поверхности почв,  $\tilde{N}_n$  - концентрации предельного насыщения раствора солями. Это равенство заменяется более точным соотношением на поверхности почвы

$$\mu DC_x + vC = 0, \text{ где } \mu \text{ - пористость почвы.}$$

Последнее условие выводится из условия движения солей. Аналитическое решение уравнения солепереноса с учетом члена, описывающего растворения солей  $\gamma \neq 0$  получено в [5], где исследован случай выноса солей из почвы вместе с испаряющей влагой при  $C_x = 0$ .

При рассмотрении нестационарного изменения концентрации на границах, [2] берет диффузионное уравнение вида

$$D^*C_{xx} + vC_x = C_t,$$

с граничными условиями  $C(x,0) = C_0$ ,  $C(0,t) = C_1$ ,  $C(h,t) = C_2$ , а начальное условие есть  $C(0,x) = C_1$ , т.е. влага имеет постоянную концентрацию грунтовых вод.

Для практических целей мелиорации, представляет интерес изучение солевого режима почвогрунтов как в естественно - сложившихся условиях, так и при орошении не только в зоне полного насыщения грунтов водой, но и ниже уровня грунтовых вод. В работе [1] приводятся аналитические решения системы двух уравнений для случая установившегося и не установившегося режима грунтовых вод, позволяющие делать прогнозы солевого режима почвогрунтов при орошении. Однако на практике имеют место как прогрессирующий во времени подъем уровня грунтовых вод в случае орошения, так и значительное его понижение в условиях испарения. Процесс является нестационарным. Кроме того, в моделях указанных выше авторов, при рассмотрении миграции солей и влаги в почве в естественных условиях и при орошении, не учитывалось горизонтальное движение потока грунтовых вод, не определена связь между существующими водно-солевыми режимами почв и потоком грунтовых вод. В то же время, скорость грунтовых вод и их минерализация, существенно влияют на распределение концентрации солей в почве. Можно заметить, что учет только лишь вертикального движения влаги в почве приводит к необходимости задания на некоторой глубине значения концентрации, которая фактически является неопределенной переменной величиной. В работе [2], это затруднение устраняется тем, что слой почвы с вертикальным движением влаги в ней предполагается полубесконечным. Однако нижней границей зоны неполного насыщения служит уровень грунтовых вод, имеющий резко нестационарный характер и изменяющийся с изменением характеристик среды (коэффициента пористости, коэффициента фильтрации и водоотдачи и т.п.), а также в зависимости от условий на свободной поверхности потока и на его границах.

В [3], было предложено, что при изучении миграции солей в почвогрунте необходимо рассматривать единый почвенно-гидрогеологический процесс от дневной поверхности до первого регионального водоупора. Это позволило учесть многие

важные для мелиорации параметры (как например, скорость потока грунтовых вод, мощность водоносного пласта, глубину залегания грунтовых вод и т.д.). При аналитическом решении использовались совместно уравнение конвективной диффузии (1, 2, 4), имеющей место в капиллярной кайме и уравнение баланса солей в потоке грунтовых вод. Изменение депрессионной кривой вдоль по потоку в стационарном состоянии находилось из решения уравнения для фильтрационного потока. В дальнейшем эта математическая модель была заменена более точной [4]. В ней предлагается рассматривать нестационарную фильтрацию потока в грунте и решать соответствующее этому движению грунтовых вод уравнение Буссинеска.

В практике мелиоративных расчетов, сравнительно редко встречаются случаи, когда фильтрация и массообмен происходят в однородных изотропных грунтах. Как правило, грунт состоит из пластов, которые отличаются по механическому составу и водопроницаемости.

Вопросы распределения солей при вертикальной фильтрации в слоистом почвогрунте рассматривались в различных работах, где авторы дают численное решение модели, представляющей собой систему двух дифференциальных уравнений с соответствующими краевыми условиями. Целый ряд интересных и практически важных задач был решен методом, основанным на количественном рассмотрении данного процесса.

Таким образом, анализ существующих математических моделей солепереноса дает нам возможность выбрать один из них или дополнить их соответствующими членами и решить начально – краевые задачи.

#### Список литературы:

1. Рачинская В.В. и др. Исследование динамики переноса солей в пористых средах. «Известия ТСХА», 1963, №1.
2. Рекс Л.М. Влияние неравномерности начального засоления на перераспределение солей в почвогрунтах. «Гидротехника и мелиорация». 1968, №10.
3. Фавзи И.А., Шестаков В.Н. Моделирование влагопереноса в зоне аэрации при периодических поливах. Физическое и математическое моделирование. Труды ВАСХНИЛ, М.: 1973.
4. Хлопотенков. Е.Д., Обобщение закона Дарси для нелинейной фильтрации в почво-грунтах. Докл. ВАСХНИЛ, №11, 1970.
5. Gardner W.R. Some steady – state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to waporation from a water table. Soil sci, 1958.- Vol.85.- P.228-273
6. Ботолаева Г.К. // Основные факторы, влияющие на засоление и деградацию почвогрунтов и анализ их устранения.// В сб. Современ.проблемы механ. Сплошных сред. Вып.18, с.189-196.
7. Ботолаева Г.К., Туганбаев У.М., Урманбетов Р.Дж. // Математические модели солевых процессов в почвогрунтах с различными взаимодействиями основных факторов соленакопления. // В сб. Современ.проблемы механ. сплошных сред. Вып.18, с.44-53.
8. Джундубаев А.К., Бийбосунов А.И., Осинцев К.В.// Анализ технико-экономических показателей гидротранспортной системы Кара-Кече – Промплощадка ГРЭС.// Энерго – и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2014.Т.2,№1,с. 105-107.
9. Джундубаев А.К., Бийбосунов А.И., Осинцев К.В.// Методы теплотехнических расчетов при эксплуатации гидротранспортных систем в зимнее время.// Энерго – и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2014.Т.2, №1,с.108-112.

Рецензент: д.матем.н., профессор Бийбосунов Б.