

# ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ МАЛОПРОДУКТИВНЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.619:631.445

DOI 10.37738/VNIIGiM.2020.47.32.031

## ПРИКЛАДНАЯ МОДЕЛЬ РАССОЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

<sup>1</sup>Абдешев К.Б., <sup>2</sup>Мустафаев Ж.С., <sup>2</sup>Козыкеева А.Т., <sup>3</sup>Абдикеримов С.А.

<sup>1</sup>Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезов, Шымкент, Казахстан

*Аннотация.* На основе уравнений гидрогеохимического процесса и кинетики химической реакции между твердыми и жидкими веществами получена прикладная модель рассоления почвы. Математическая модель для определения промывных норм с учетом фильтрационной способности почвенного слоя позволяет разработать водосберегающую технологию и технологические схемы промывки засоленных почв, обеспечивающих экологическую устойчивость почвенного и растительного покровов ландшафтных систем.

*Ключевые слова:* почва, химия, реакция, рассоление, засоление, модель, промывка, процесс

## APPLIED MODEL OF SOILS DESALINIZATION

<sup>1</sup>Abdeshev K. B., <sup>2</sup>Mustafayev Zh. S., <sup>2</sup>Kozykeyeva A. T., <sup>3</sup>Abdikerimov S. A.

<sup>1</sup>Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

*Abstract.* Based on the equations of the hydrogeochemical process and the kinetics of the chemical reaction between solid and liquid substances, an applied model of soil desalination is obtained. The mathematical model for determining the leaching norms, taking into account the filtration capacity of the soil layer, allows us to develop a water-saving technology and technological schemes for washing saline lands that ensure the environmental sustainability of the soil and vegetation cover of landscape systems.

*Key words:* soil, chemistry, reaction, desalination, salinization, model, leaching, process

### Введение

Современный уровень и темпы развития использования земельных ресурсов для обеспечения продовольственной безопасности населения в мире требуют необходимости более глубокого изучения особенностей формирования почв в ландшафтных системах, как одной из производительных сил отраслей экономики. Для понимания и познания почвообразовательных и гидрогеохимических процессов в почвенных средах в естественных условиях и антропогенной деятельности возникла необходимость использования методов математического моделирования, позволяющих проводить количественное и качественное описание водно-физических и геохимических свойств почв, как средообразующей функции природной системы.

В естественных ландшафтах почва представляет собой специфическую саморегулируемую систему открытого характера, где наблюдается исключительно тесная взаимосвязь с условиями внешней среды, способствующая формированию высокопродуктивных разновидностей почвы, в том числе на низкопродуктивных засоленных почвах.

В связи с широким освоением засоленных почв для создания высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий вопросы построения теории оптимального управления гидрогеохимическими процессами в почвенных средах требуют построения модели «рассоление-засоление» почв, позволяющей всестороннее изучение физико-химического процесса в почвенных средах в условиях антропогенной деятельности.

**Цель исследования** – на основе физико-химических процессов природной системы разработать математическую модель рассоления засоленных почв.

**Материалы и методы исследования.** Разработка математической модели гидрогеохимических процессов почвенной среды естественных ландшафтных систем и гидроагроландшафтов требует отражения прямой и обратной связи между внешними факторами и природными процессами, которые подчиняются закономерностям физико-химической гидродинамики пористых сред.

Однако теоретическая зависимость, полученная на основе математического уравнения кинетики химических реакций между твердыми и жидкими веществами, не может учитывать физических и химических процессов, которые происходят в почвенной среде, так как они получены с весьма искусственными допущениями при решении дифференциальных уравнений массопереноса в пористых средах.

При этом, всякая теория, являясь обобщением накопленных знаний, может быть предназначена и для дальнейшего углубления и расширения самих знаний, и для использования уже полученных знаний в совершенствовании количественной теории процессов засоления и рассоления почв и почвообразовательного процесса. Вместе с тем, при разработке теории, предназначенной для использования в этих двух основных направлениях, могут быть сформированы и более узкие задачи, которые определяют ее характер и форму, то есть моделирование процессов солеотдачи при промывке засоленных почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа и степени засоления почв гидроагроландшафтных систем.

Изучение закономерностей процессов засоления и рассоления почв в гидроагроландшафтных системах на основе математического моделирования гидрогеохимических процессов и выполнения сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований по познанию, описанию и изучению процессов выщелачивания почвенного слоя в результате промывки в различных технологических режимах позволяет проводить целенаправленное регулирование почвообразовательного процесса при освоении засоленных земель для формирования высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий.

Вероятно, это объясняется не только огромной теоретической и практической важностью засоления и рассоления почв, но также и тем, что эти почвообразовательные и гидрогеохимические процессы, по своей природе, могут быть

хорошим объектом для моделирования с использованием модели природы и природного процесса.

Математический подход при изучении любых процессов требует их формализации, то есть создания их математической модели. Так, при рассмотрении перераспределения солей в почвогрунтах, в первую очередь, требуется их формализация - замена пористой среды твердым телом, содержащим большое количество пустот, характерный размер которых мал сравнительно с характерным размером тела.

На основе систематизации и структурного анализа существующих моделей природы и природного процесса сделана попытка описания некоторых отдельных процессов, происходящих при засолении и рассолении почв, а также их влияния на продуктивность сельскохозяйственных культур. При этом следует отметить, что рассмотренные математические модели засоления и рассоления почв не могут решить эту задачу и проблему в целом. Мы намеревались лишь внести определенный вклад в решение актуальной проблемы количественного описания процесса формирования засоленных почв и моделирования процесса рассоления их на основе законов Природы.

**Результаты исследования.** Для мелиорации почв, то есть при изучении процессов засоления и рассоления компонентов природной системы, характерно стремление строить математические модели, которые не только дают описание и объяснение уже установленных физических закономерностей изучаемого круга явлений, но и позволяют предсказать гидродинамические закономерности, позволяющие регулировать и управлять этими природными процессами. Приведем подробный анализ на примере известных закономерностей физики, химии и экологии, а также законов Природы, которые позволяют определить природные сущности процессов засоления и рассоления почв.

Особенностями кинетики химической реакции между твердыми и жидкими веществами, которые встречаются при промывке засоленных почв в аридных зонах с сухим климатом, является скорость химических реакций, которая характеризует изменения концентрации компонентов химических реакций во временном масштабе.

В процессе промывки засоленных почв скорость химической реакции определяет уменьшение концентрации исходного засоления или увеличение концентрации почвенного раствора. Скорость уменьшения концентрации солей в почвенном слое равно -  $dC/dt$ , а скорость увеличения концентрации почвенного раствора равна  $dC/dt$ , где  $C$  - концентрация почвенного раствора,  $t$  - время прохождения химических реакций между твердыми и жидкими веществами.

При этом порядок химических реакций между твердыми и жидкими веществами в почвенной среде - это эмпирическая величина, равная сумме показателей степеней, с которыми концентрации почвенного раствора входят в выражение для скорости химических реакций, то есть для реакции между твердыми и жидкими веществами в почвенной среде  $aA + bB > mM + nN$ . Скорость уменьше-

ния концентрации твердого вещества  $C$ , жидкого вещества  $A$  можно представить по следующему уравнению:

$$V = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b \quad (1)$$

где:  $C_A$  и  $C_B$  - концентрации жидкого ( $B$ ) и твердого ( $A$ ) веществ;  $k$  - коэффициент пропорциональности, входящий в уравнение, называется константой скорости;  $a + b$  - показатель порядка химических реакций.

На основе уравнения (1) можно записать кинетическое уравнение химических реакций в дифференциальной форме для разного исходного засоления почвы:

$$-\frac{dC}{d\tau} = k \cdot C^2 \quad (2)$$

Для нахождения зависимости концентрации почвенного раствора от времени, необходимо проинтегрировать кинетическое уравнение химических реакций (2), то есть разделение переменных и интегрирование кинетического уравнения в пределах от нуля до  $\tau$ , что позволяет получить следующее уравнение:

$$-\ln C = k \cdot \tau + const, \quad (3)$$

где:  $\ln$  - натуральный логарифм или, перейдя к десятичным логарифмам  $\lg C = -(k \cdot \tau / 2.303) - (const / 2.303)$ .

Построение графической зависимости логарифма концентрации почвенного раствора от продолжительности промывки, то есть  $\lg C$  от  $\tau$ , показывает прямую наклона с тангенсом угла  $-tg\alpha$ , равным  $-k/2.303$  и отсюда  $k = 2.303 \cdot tg\alpha$  (рисунок 1).

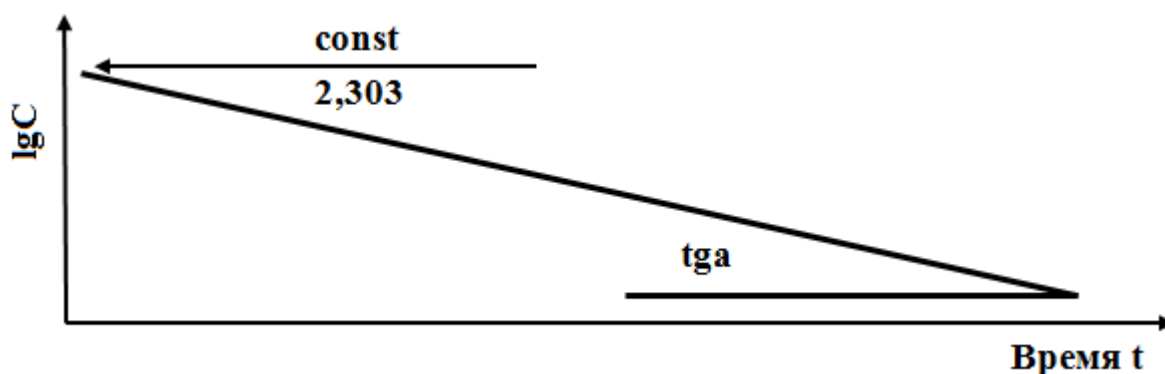


Рисунок 1 - График зависимости логарифма концентрации от времени

При этом, когда известно количественное значение константы скорости химических реакций  $k$ , можно определить количество растворенных твердых веществ, прореагировавшего к данному моменту времени.

Зная константу скорости химических реакций  $k$  и концентрацию почвенного раствора  $C$  при данном  $\tau$ , можно определить константу интегрирования (

*const*) из уравнения (3) и на их основе прогнозировать концентрацию почвенного раствора для любого момента времени. Константу интегрирования можно также определить из графика зависимости логарифма концентрации от времени (рисунок 1), то есть точки пересечения прямой с осью  $\lg C$  при  $\tau = 0$  представляют  $\lg C_0$  (рисунок 1). Следовательно, константа скорости химических реакций вычисляется как тангенс угла наклона прямой к оси времени:  $k_i = -\tan \alpha$  и период полупревращения почвенного раствора:  $\tau_{1/2} = \ln 2 / k_i$ .

При этом решение уравнения с начальными условиями в момент времени  $\tau_1 = 0$  и концентрации почвенного раствора  $C_1 = C_0$ , то концентрация почвенного раствора  $C$  в любой момент времени  $\tau$  в соответствии с кинетическим уравнением химических реакций имеет следующий вид [3]:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C_\tau} \text{ или } C_\tau = C_0 \cdot \exp(-k \cdot \tau). \quad (4)$$

Это соотношение иллюстрирует важную особенность химической реакции первого порядка: время, за которое количество солей в почвенном слое уменьшается вдвое, не зависит от его количества на момент начала контактов между твердыми и жидкими веществами и в любой данный момент химической реакции.

На основе системного и сравнительного анализа результатов теоретических и практических исследований, проведенных в различных природно-климатических зонах, В.Р. Волобуев теоретически обосновал вывод уравнения для расчета промывных норм с использованием уравнения кинетики химической реакции между твердыми и жидкими веществами [4].

Таким образом, количество воды  $N$ , профильтровавшейся в почву за время промывки засоленных почв  $t$ , можно выразить как  $N = V \cdot t$ , где  $V$  - скорость фильтрации – величина постоянная, что дает возможность их представить с помощью дифференциального уравнения кинетики химической реакции между твердыми и жидкими веществами:

$$-d[S]/dN = k[S], \quad (5)$$

или

$$-d[S]/[S] = kdN. \quad (6)$$

Интегрирование этого уравнения дает:

$$-\ln[S] = k \cdot N + C, \quad (7)$$

Принимая граничные условия для скорости выщелачивания солей равными  $S_n$  и  $S_o$  (где  $S_n$  и  $S_o$  – начальное и допустимое) и для промывной нормы  $N = 0$  и  $N$ , то есть:  $S = S_n$  при  $N = 0$  и  $S = S_o$  при  $N \neq 0$ , тогда запишем:

$$-\ln[S] \frac{S_o}{S_n} = k \cdot N_o^N + C. \quad (8)$$

После ряда преобразований (6,7) имеем

$$\ln \frac{S_n}{S_o} = k \cdot N. \quad (9)$$

При переходе от натуральных логарифмов к десятичным зависимость имеет вид:

$$2,303 \lg \frac{S_n}{S_o} = k \cdot N, \quad (10)$$

так как  $\ln = 2,303 \cdot \lg$ :

Решая уравнение  $2,303 \lg(S_n / S_o) = k \cdot N$  относительно  $N$ , получим:

$$N = \frac{2,303}{k} \cdot \lg \frac{S_n}{S_o}. \quad (11)$$

На основе структурного анализа уравнения (11), можно константировать, что  $2,303/k$  является угловым коэффициентом, отражающим способность почвы к солеотдаче в процессе промывки засоленных почв, то есть, тогда  $2,303/k = \alpha$ , получим формулу В.Р. Волобуева [4].

Это позволяет детально расшифровать зависимость показателя солеотдачи не только от физико-химических свойств засоленных почв, но также и от скорости инфильтрационного потока, то есть поверхность твердого вещества остается равна  $C_t = (n_o - n_t)/W$  (где  $n_o$  – количество реагента, имеющегося в объеме  $W$  раствора к началу опыта, а  $n_t$  – количество реагента, истраченного к моменту времени ( $t$ ), то получим выражение [5]:

$$\ln \left[ \frac{n_o}{n_o - n_t} \right] = D \frac{\theta \cdot t}{\delta \cdot W}. \quad (12)$$

Приняв в уравнении (12) величину  $\ln[n_o / (n_o - n_t)]$  равной логарифму отношения исходного засоления, то есть  $\ln(S_i / S_o)$  получим:

$$V \cdot t \cdot \lambda = \frac{\theta}{W \cdot \delta} \ln(S_i / S_o). \quad (13)$$

Так как промывная норма есть произведение скорости инфильтрации « $V$ » на продолжительность промывки « $t$ », то есть  $N = V \cdot t$ , выражение (13) можно записать так:

$$N = \frac{2,303}{W \cdot \lambda} \cdot \frac{\theta}{\delta} \cdot \ln(S_i / S_o) = \frac{\alpha}{\beta} \lg \frac{S_i}{S_o}. \quad (14)$$

С учетом физического смысла произведение, стоящее перед логарифмом можно записать так:

$$\alpha = \frac{2,303}{W \cdot \lambda} = (V \cdot t) / \ln(S_i / S_o); \quad \frac{1}{\beta} = \frac{\theta}{\delta}; \quad [\alpha] = \alpha / \beta, \quad (15)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент солеотдачи;  $\beta$  – параметр, который зависит от скорости перемешивания.

С учетом (14) формула (15) имеет вид [5]:

$$N = [\alpha] \cdot \ln(S_i / S_o) = \frac{\alpha}{\beta} \lg \frac{S_i}{S_o}. \quad (16)$$

Таким образом, параметр  $\beta$ , зависящий от скорости растворения твердого вещества, характеризует ускорение солеотдачи почвы в зависимости от скорости или интенсивности промывки засоленных почв, который имеет физико-химический смысл, как ускорителя химической реакции между твердыми и жидкими веществами. Зависимость коэффициента  $\beta$  от скорости или интенсивности промывки засоленных почв, представляющей скорость инфильтрационного потока через почвенный слой  $V_\delta$  аппроксимировалась выражением [5]:

$$\beta = 2,02 \cdot \exp(-9,57 \cdot V). \quad (17)$$

При этом из структурного анализа уравнения (16) параметр  $[\alpha]$  в формуле В.Р. Волобуева является комплексной характеристикой и расшифровывается как произведение коэффициента солеотдачи ( $\alpha$ ) и коэффициента ускорения солеотдачи ( $\beta$ ). Коэффициент солеотдачи ( $\alpha$ ) зависит от механического состава и химизма засоления почв и является константой выщелачивания, которая может быть определена при гораздо меньших затратах времени и труда по сравнению с параметрами  $[\alpha]$ .

Коэффициент ускорения солеотдачи засоленных почв ( $\beta$ ) зависит от технологии промывки засоленных почв и характеризует продолжительность контакта твердого и жидкого веществ в процессе проведения промывок, то есть является функцией скорости инфильтрационного потока.

### **Выводы**

Таким образом, разработанная математическая модель для определения промывных норм с учетом фильтрационной способности почвенного слоя, позволяет разработать водосберегающую технологию и технологические схемы промывки засоленных земель, обеспечивающих экологическую устойчивость почвенного и растительного покровов ландшафтных систем.

### Список использованных источников

1. Бекетов Н.Н. Избранные произведения по физической химии. - Харьков: Издательство Харьковского государственного университета им А. М. Горького, 1955. – 274 с.
2. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия (Под ред. А.Г. Стромберга). - М.: Высшая школа, 1988. – 496 с.
3. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
4. Волобуев В.Р. О закономерности выщелачивания солей из почв // Гидротехника и мелиорация, 1983. - №7. – С. 66-68.
5. Мустафаев Ж.С. Физико-математическое моделирование процесса выщелачивания солей из почвы // Плодородие почв Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1986. - вып.2. - С.64-72.

### References

1. Beketov N. N. Selected works on physical chemistry. - Kharkiv: Publishing house of the A. M. Gorky Kharkiv state University, 1955. - 274 p.
2. Stromberg A. G., Semchenko D. P. Physical chemistry (ed. by A. G. Stromberg). Moscow: Higher school, 1988, 496 p.
3. Emmanuel N. M., Knorre D. G. Course of chemical kinetics, Moscow: Higher school, 1974, 400 p.
4. Volobuev V. R. on the regularity of salt leaching from soils // Hydrotechnika I melioration, 1983. - №7. - Pp. 66-68.
5. Mustafaev Zh. S. Physical and mathematical modeling of the process of leaching salts from the soil // Soil fertility in Kazakhstan. - Alma-ATA: Nauka, 1986. - vol.2. - P. 64-72.

УДК 631.11

DOI 10.37738/VNIIGiM.2020.17.42.032

## СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

**Воронов С.И., Плескачев Ю.Н.**

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Немчиновка, г. Москва, Россия

*Аннотация.* Для предотвращения потерь почвы от смыва при поверхностном стоке склоновых земель предусматривается полосное размещение полевых культур с чередованием однолетних культур с многолетними травами. Создание залуженных участков и буферных полос на склоне, способствует снижению количества смытой почвы от верхней межбуферной полосы к нижней.

*Ключевые слова.* склоновый агроландшафт, полосное размещение, буферные полосы, многолетние травы

## WAYS TO PRESERVE THE FERTILITY OF SLOPE LANDS

**Voronov S.I., Pleskachev Yu. N.**

Federal state budget scientific institution, Federal research centre Nemchinovka, Moscow, Russia

*Abstract.* In order to prevent soil loss from flushing during surface runoff of slope lands, it is planned to place field crops with alternating annual crops with perennial grasses. The creation of tinned areas and buffer strips on the slope helps to reduce the amount of washed soil from the upper interbuffer strip to the lower one.

*Keyword.* slope agricultural landscape, lane placement, buffer strips, perennial grasses