

УДК 631.371.1

## ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Н.И. Иванова, Г.Е. Жидекулова, Л.К. Жусупова*

Определены гидрогеохимические режимы сельскохозяйственных мелиораций при комплексном освоении засоленных почв, повышающие продуктивность угодий при сохранении общей экологической устойчивости агроландшафтных систем.

*Ключевые слова:* продуктивность; урожайность; угодья; засоление; комплексное освоение; орошение; предполивная влажность; концентрация почвенного раствора; режим.

---

## THE HYDROGEOCHEMICAL MODES OF AGRICULTURAL MELIORATION AT COMPLEX DEVELOPMENT OF THE SALTED LANDS

*J.S. Mustafaev, A.T. Kozikeeva, N.I. Ivanova, G.E. Jidekulova, L.K. Jusupova*

The hydrogeochemical modes of agricultural melioration at complex development of the salted soils increasing efficiency of grounds at preservation of the general ecological stability of agrolandscape systems are defined.

*Keyword:* efficiency; productivity; grounds; salinization; complex development; irrigation; preirrigation humidity; concentration of soil solution; mode.

**Введение.** Одной из самых острых агроэкологических проблем аридных территорий Центральной Азии, в том числе и Казахстана, является естественное засоление ландшафтных систем, требующее всестороннего обоснования гидрогеохимического режима сельскохозяйственных мелиораций при их освоении для развития агропромышленного комплекса региона с целью обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития.

Для рационального землепользования большое значение имеет, с одной стороны, преодоление действия неблагоприятных почвенно-климатических факторов, а с другой – научно-обоснованное использование растительных ресурсов, сочетающих в себе желаемую комбинацию хозяйственно-ценных признаков с высокой адаптивностью к острозасушливым условиям среды аридных территорий Центральной Азии.

В последние годы в теории и практике землепользования с использованием принципов и методов мелиорации сельскохозяйственных земель все большее значение приобретает адаптивно-ландшафтный подход. Сущность этого подхода состоит в создании экологически устойчивых, с элементами саморегуляции, высокопродуктивных агроценозов в обеспечении неистощи-

тельного природопользования. В аридных условиях этому подходу в наибольшей мере отвечают растения, эволюционно-географическое происхождение которых позволяет им эффективно использовать ресурсы среды, в том числе за счет формирования высокопродуктивных агроландшафтных систем с учетом солеустойчивости возделываемых сельскохозяйственных культур.

Задача исследования – обоснование гидрогеохимических режимов сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных почв для создания высокопродуктивных агроландшафтных систем.

**Материалы и методы исследования.** В качестве критериев при обосновании гидрогеохимических режимов сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель можно использовать классификацию засоленных почв, предложенную Н.И. Базилевич и Е.Н. Пановой, в зависимости от содержания плотного остатка, так как по сравнению с другими методами классификации засоленных почв, они учитывают минерализацию почвенного раствора и биологическую продуктивность почвы (таблица 1) [1].

В классификации засоленных земель степень засоления почвы характеризуется собственной комбинацией геохимических условий почвы

Таблица 1 – Классификация почвы по степени засоления в зависимости от содержания плотного остатка (по Н. И. Базилевич, Е. И. Панковой)

Степень засоления почвы	Содержание солей			Состояние растений, характеризующее среднюю солеустойчивость ( $Y_i/Y_{max}$ )
	сухой остаток ( $\gamma$ ), %	$S_{max}$ , т/га	почвенного раствора ( $C_p^n$ ), г/л	
Незасоленные	<0.30	35.0	11.2	1.00
Слабозасоленные	0.30–0.50	70.0	22.4	0.80
Среднезасоленные	0.50–1.00	140.0	44.8	0.75
Сильнозасоленные	1.00–2.00	280.0	89.6	0.25
Солончаки	>2.00	>280.0	>89.6	0.00

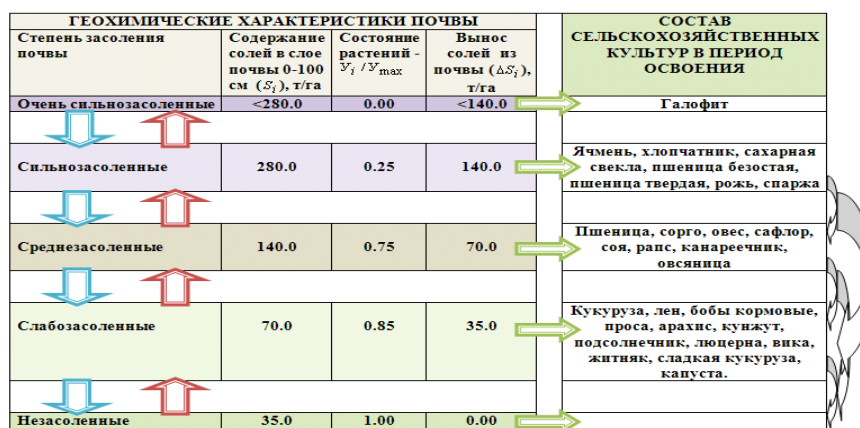


Рисунок 1 – Процесс поэтапного освоения засоленных земель с учетом экологических требований природопользования

и биохимических особенностей сельскохозяйственных культур, которые могут быть использованы для обоснования гидрогеохимического режима сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель для создания высокопродуктивных агроландшафтных систем.

**Результаты исследования.** При решении этих задач за основу приняты классические классификации почв по засолению и солеустойчивости сельскохозяйственных культур и их вариации, которые позволяют составить технологические схемы освоения засоленных земель для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом предельно допустимого уровня техногенных нагрузок природной системы (рисунок 1).

На основе предложенной технологической схемы освоение засоленных земель должно проводиться поэтапно во временном масштабе в годовых интервалах, с использованием классификации засоленных почв и солеустойчивости сельскохозяйственных культур от очень сильно-

засоленных до сильнозасоленных, от сильнозасоленных до среднезасоленных, от среднезасоленных до слабозасоленных и от слабозасоленных до незасоленных с возделыванием сельскохозяйственных культур.

При этом каждый этап освоения засоленных земель соответствует определенному состоянию земель по степени засоления почвы и, следовательно, решаются определенные мелиоративные задачи, относящиеся к этому этапу.

Отличительной чертой предлагаемой схемы освоения засоленных земель является увязка способа их освоения с классификацией засоленных почв и солеустойчивостью сельскохозяйственных культур.

На каждом этапе освоения засоленных земель, во-первых, необходимо определить степень засоления почвы ( $S_i$ ) и, во-вторых, уровень ожидаемой продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом – солеустойчивости ( $\bar{Y}_i = Y_i / Y_{max}$  где  $Y_i$  – урожайность

Таблица 2 – Технологическая схема гидрогеохимического обоснования режима сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель

Степень засоления почвы	Период каждого этапа освоения		Режим сельскохозяйственной мелиорации
	вневегетационный	вегетационный	
Очень сильнозасоленные	Промывка с нормой соответствующей степени засоления почвы	Возделывание солеустойчивых культур с учетом степени засоления почвы	Промывной
Сильнозасоленные			Биоклиматический
Среднезасоленные			Биоклиматический
Слабозасоленные			Биоклиматический
Незасоленные	–	Сельскохозяйственных культур	Экологический

сельскохозяйственных культур при данной степени засоления почвы, ц/га;  $V_{max}$  – максимальная урожайность сельскохозяйственных культур при допустимой степени засоления почв, ц/га).

Норма промывки засоленных земель ( $\alpha$ ) при каждом этапе освоения определяется на основе системы следующих уравнений [2, 3]:

$$V_i = V_{max} \cdot \exp[-k(S_i / S_{doni} - 1)^b]; \quad (1)$$

$$N_i = (\alpha / \beta) \cdot \lg(S_i / S_{doni}), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент солеотдачи;  $\beta$  – параметр, который зависит от скорости перемешивания;  $S_{doni}$  – допустимое содержание солей почвы при этапе освоения засоленных земель, т/га;  $k$  – коэффициент солеустойчивости сельскохозяйственных культур;  $b$  – параметр уравнения.

Если ожидаемое количество вымываемых солей из почвенного слоя (0–100 см) ( $\Delta S_i$ ) в каждом этапе освоения засоленных земель будет больше, чем их предельно-допустимое значение ( $\Delta S_{don}$ ), которое определяется исходя из уровня техногенной нагрузки природной системы в годовом интервале, тогда в данном этапе освоения выделяются несколько подэтапов, то есть количество подэтапов определяется по формуле:  $n = \Delta S_i / \Delta S_{don}$ .

Каждый этап освоения засоленных земель характеризуется собственной комбинацией гидрогеохимических условий почвы и биохимических особенностей сельскохозяйственных культур, которые соответствуют определенному режиму сельскохозяйственных мелиораций при комплексном освоении засоленных земель (таблица 2).

Биоклиматический режим сельскохозяйственной мелиорации формируется на основе удовлетворения оптимальных потребностей растений в воде на протяжении всей вегетации

в соответствии с их биологическими особенностями и термическим состоянием приземного слоя воздуха и характером засоления почвы агроландшафтных систем.

Величину суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в агроландшафтных системах определяют биоклиматическим методом по формуле Н.В. Данильченко [4]:

$$E_v = E \cdot k_\delta \cdot k_o, \text{ мм}, \quad (3)$$

где  $k_\delta$  – биологический коэффициент;  $k_o$  – микроклиматический коэффициент;  $E$  – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация).

Испаряемость подсчитывают по формуле Н.Н. Иванова [5]:

$$E = K_t \cdot d \cdot f(u), \quad (4)$$

где  $K_t$  – энергетический фактор испарения;  $d$  – дефицит влажности воздуха, мб;  $f(u)$  – функция, характеризующая влияние ветра.

Параметры испаряемости  $K_t$  и  $f(u)$  определяют по зависимости:

$$K_t = \frac{0,0061(25+t)^2}{l_a} \text{ и } f(u) = 0,64 + 0,12u_2, \quad (5)$$

где  $t$  – температура воздуха, °С;  $l_a$  – упругость насыщенного пара, мб;  $u_2$  – скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

При этом главная цель регулирования гидрогеохимического режима агроландшафтов в период освоения засоленных земель с использованием биоклиматической нормы водопотребности заключается в том, чтобы не нарушать природные ритмы изменения всех показателей водного и солевого балансов.

На каждом этапе освоения засоленных земель установленная биоклиматическая оросительная норма подается в виде поливной нормы с учетом предельно-допустимой концентрации почвенного раствора, соответствующей солеустойчивости возделываемых на агроландшафтных системах.

Таблица 3 – Качественные и количественные параметры режима сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель

Степень засоления почвы	Режим сельскохозяйственной мелиорации	Солеустойчивость возделываемых сельскохозяйственных культур ( $C_p^p$ ), % массы сухой почвы	Уровень предполивной влажности почвы ( $\bar{\beta}_{in}$ ), в доли от $HВ$
Очень сильнозасоленные	Промывной	>1.5	–
Сильнозасоленные	Биоклиматический	0.8–1.5	0.85–0.90
Среднезасоленные	Биоклиматический	0.4–0.8	0.80–0.85
Слабозасоленные	Биоклиматический	0.1–0.4	0.75–0.80
Незасоленные	Экологический	<0.1	0.70–0.75

Содержание солей в почвенном слое в каждом этапе засоленных земель определяется по формуле:

$$S = 100 \cdot H \cdot d \cdot \gamma, \quad (6)$$

где  $H$  – мощность расчетного слоя, м;  $d$  – объемная масса почвы, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – содержание солей в почве, в % от веса сухой почвы.

Количественное значение почвенного раствора засоленных почв можно определить по формуле:

$$C_p^n = S / (100 \cdot H \cdot d \cdot \beta_{не}), \quad (7)$$

где  $\beta_{не}$  – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости, в % от веса сухой почвы.

Как следует из формулы (7), концентрация почвенного раствора относительно постоянна от содержания солей в почвенном слое ( $S$ ), мощности расчетного слоя почвы ( $H$ ) и объемной массы почвы ( $d$ ), то есть во временном масштабе во многом зависит от влажности почвы, соответствующей наименьшей влагоемкости ( $\beta_{не}$ ). В связи с этим формулу (7) для определения предельно-допустимого уровня влажности почвы соответствующей солеустойчивости растений ( $C_p^p$ ) можно представить в следующем виде:

$$C_p^p = \frac{S}{[100 \cdot H \cdot d \cdot (100 \cdot \beta_i / \beta_{не})]}, \quad (8)$$

где  $\beta_i$  – влажность почвы соответствующей солеустойчивости растений ( $C_p^p$ ).

Если решить формулу (8) относительно  $\bar{\beta}_{in} = \beta_i / \beta_{не}$ , получим значение относительного предельно-допустимого уровня предполивной влажности почвы ( $\bar{\beta}_{in}$ ), выраженное в процентах от наименьшей влагоемкости и соответствующей солеустойчивости растений ( $C_p^p$ ), возделываемых на соответствующих этапах освоения засоленных земель:

$$\bar{\beta}_{in} = S / 10000 \cdot H \cdot d \cdot C_p^p. \quad (9)$$

На основе приведенного методологического подхода обоснования гидрогеохимического режима сельскохозяйственных мелиораций уровень предполивной влажности почвы, соответствующий собственной комбинации геохимических условий почвы и биохимических особенностей сельскохозяйственных культур на каждом этапе освоения засоленных земель приведены таблице 3.

Поливная норма определяется по формуле А.Н. Костякова на основе водно-физических свойств почвы ( $d$ ), глубины увлажнения ( $H$ ) и степени иссушения перед поливом ( $\bar{\beta}_{in}$ ):

$$m = 100 \cdot H \cdot d \cdot (\beta_{не} - \bar{\beta}_{in} \cdot \beta_{не}). \quad (10)$$

Количество поливов определяется на основе водного баланса орошаемых земель по следующей зависимости:

$$n = (E - O_c - \Delta W \pm g) / m, \quad (11)$$

где  $\Delta W$  – продуктивные запасы почвенной влаги в расчетном слое почвы;  $\pm g$  – влагообмен между грунтовыми и почвенными водами.

Теоретическое обоснование экологически безопасного режима сельскохозяйственной мелиорации основаны на законе сохранения энергии, то есть в основу экологически приемлемых норм водопотребности сельскохозяйственных культур положен принцип энергетической сбалансированности тепла, влаги и питательных веществ с учетом природных режимов.

Для этой цели можно использовать комплексный гидротермический показатель ( $\bar{R}$ ), представляющий собой отношение радиационного баланса ( $R$ ) к затратам тепла на испарение выпавших осадков ( $L \times O_c$ ). Этот показатель ( $\bar{R}$ ), характеризующий баланс энергии, и в должной мере определяющий интенсивность протекания

биохимических и геохимических процессов на суши, может быть использован для определения направленности и интенсивности почвообразовательного процесса ландшафтных и агроландшафтных систем.

При этом комплексный гидротермический показатель или индекс «сухости» ландшафтных систем для условного года определяется по формуле М.И. Будыко [6]:

$$\bar{R} = R / L \times O_c, \quad (12)$$

где  $R$  – радиационный баланс поверхности почвы, кДж/см<sup>2</sup> год;  $L$  – скрытая теплота парообразования, кДж/см<sup>2</sup> год на 1 мм слоя воды;  $O_c$  – годовой слой атмосферных осадков, мм.

В условиях орошения агроландшафтных систем общее увлажнение определяется суммой атмосферных осадков ( $O_c$ ) и оросительной нормой ( $O_p$ ), тогда комплексный гидротермический показатель примет следующий вид:

$$\bar{R} = R / L(O_c + O_p). \quad (13)$$

Среднегодовую экологическую норму орошения сельскохозяйственных угодий определяется по формуле:

$$O_p^0 = \frac{R}{\bar{R} \cdot L} - O_c. \quad (14)$$

Для определения экологической нормы орошения сельскохозяйственных угодий расчетной обеспеченности можно использовать следующую зависимость [7]:

$$O_{pi}^0 = O_{pcp}^0 (0.010 \cdot P_i + 0.484), \quad (15)$$

где  $P_i$  – расчетная обеспеченность.

При этом следует отметить, что при обосновании гидрогеохимического режима сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель основное внимание уделялось сохранению общей экологической устойчивости агроландшафтов и прилегающих ландшафтных систем, на основе поэтапного повышения малого биологического круговорота и сдерживания интенсивности геологического круговорота с целью уменьшения переноса растворов солей в корнеобитаемый слой почвы. Кроме того, поэтапное освоение засоленных земель собственной комбинации геохимических условий почвы и биохимических особенностей сельскохозяйственных культур позволяют благоприятному функционированию агроландшафтов,

обеспечивая экооптимальный механизм формирования плодородия почвы, то есть почвообразовательного процесса в соответствии с законами эволюционного процесса природной системы.

**Заключение.** Таким образом, систематизация и системный анализ закономерности формирования гидрогеохимических режимов ландшафтных систем и накопленный опыт антропогенного воздействия на них позволяют экологически обосновать принципы и технологические схемы освоения засоленных земель, обеспечивающих сохранение общей экологической устойчивости территории агроландшафтных систем. При этом, предлагаемые гидрогеохимические режимы сельскохозяйственных мелиораций при освоении засоленных земель, сформированных на основе собственной комбинации геохимических условий почвы и биохимических особенностей сельскохозяйственных культур, обеспечивают необходимые условия сохранения и повышения плодородия почвы как среды развития сельскохозяйственных культур.

#### Литература

1. *Базилевич Н. И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова // Бюллетень Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 4. С. 36–40.
2. *Мустафаев Ж.С.* Моделирование засоления и рассоления почвы / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, К.Ж. Мустафаев, К.Б. Абдешев. Тараз, 2001. 204 с.
3. *Волобуев В.Р.* Расчет промывки засоленных почв / В.Р. Волобуев. М.: Колос, 1975. 75 с.
4. *Данильченко Н.В.* Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм / Н.В. Данильченко // Мелиорация и водное хозяйство. 1999. № 4. С. 25–29.
5. *Иванов Н.Н.* Зоны увлажнения земного шара / Н.Н. Иванов // Известия АН СССР. Сер. география и геофизика. 1941. № 3. С. 15–32.
6. *Будыко М.И.* Тепловой баланс земной поверхности / М.И. Будыко. Л.: Гидрометеоздат, 1956. 255 с.
7. *Мустафаев Ж.С.* Адаптивно-ландшафтные мелиорации земель в Казахстане / Ж.С. Мустафаев, А.Д. Рябцев. Тараз, 2012. 528 с.