

систем земледелия и агротехнологий [Текст]. — М.: Росинформагротех, 2005. — С. 397–314.

26. **Айдаров, И. П.** Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных угодий [Текст] / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. — М.: Агропромиздат, 1990. — С. 26–27.

27. **Аверьянов, С. Ф.** Борьба с засолением орошаемых земель [Текст] / С. Ф. Аве-

рьянов. — М.: Колос, 1978. — С. 45–180.

28. **Айдаров, И. П.** Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель [Текст] / И. П. Айдаров. — М.: Агропромиздат, 1985. — С. 122–128.

29. **Кай, Р. А.** Measuring Sustainability in Israel's Water System [Text] / R. A. Kay // International Water Resources Association. — Vol. 25. — № 4. — 2000. — P. 617–623.

УДК 502/504:631.413.3:712

**А. И. Голованов, доктор техн. наук, профессор**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## УПРАВЛЕНИЕ ГАЛОЕМКОСТЬЮ ЛАНДШАФТОВ

*Предлагается новое понятие в геохимии наземных ландшафтов — галоемкость, или солеемкость ландшафтов или геосистем, как установившееся равновесие запасов солей в конкретной толще почв и грунтов, сформировавшееся при длительных стационарных или квазистационарных внешних факторах: погодных, гидрогеологических, почвенных, организационно-хозяйственных. Предлагается простой способ оценки этой емкости. Отмечено, что именно регулирование солеемкости путем воздействия на указанные факторы создает условия для гарантированного устранения засоленности земель.*

*A new concept in geochemistry of surface landscapes is proposed — halocapacity or saline capacity of landscapes or geosystems as a steady balance of salt stores in the particular thickness of soils and grounds formed under long-term stationary or quasistationary external factors: weather, hydrogeological, soil, economic-organizing. There is proposed a simple way of estimation of this capacity. It is noted that just regulation of saline capacity by affecting the indicated factors creates conditions for the guaranteed elimination of land salinization.*

Под природной устойчивостью земных геосистем понимают их способность сохранять или восстанавливать свою структуру, свойства, состояние после прекращения нерегулярных внешних воздействий природного или антропогенного происхождения.

Следует отличать устойчивость техноприродных геосистем, т. е. природных геосистем со встроенными в них человеком искусственными элементами (сооружениями, посевами сельскохозяйственных культур и т. п.). Такая устойчивость заключается в способности выполнять заданные ей социально-экономические функции. Устойчивость почвы и устойчивость поля — разные понятия.

Помимо устойчивости земным геосистемам свойственна динамичность — способность изменяться обратно под действием периодически меняющихся факторов, к которым природа «привыкла» (суточная, сезонная, многолетняя цикличность).

И еще одно фундаментальное свойство земных геосистем — способность эволюционно изменяться вследствие глобальных процессов. Такие изменения — необратимые.

Все эти свойства относятся и к засоленности почв так называемыми макросолями, токсичными для растений (ионы Cl, SO<sub>4</sub>, Na и др.).

При изучении процессов засоле-

ния, регулировании засоленности в процессе мелиорации почв необходимо принимать во внимание и другие фундаментальные свойства геосистем: открытость, внутреннюю неоднородность (генетическую или детерминированную, и случайную, приводящую к пестроте засоления), нелинейность природных процессов (самый большой грех балансовых исследований — линейность, экстраполяция с сохранением темпов изменений), наличие прямых и обратных связей. Многие обратные связи отрицательные, что и приводит к нелинейности природных процессов. Для обеспечения устойчивости природа выработала много компенсирующих механизмов, не позволяющих ей идти «враскачку».

Засоленности свойственна значительная динамичность, особенно в многолетнем ряду, из-за различий в тепло- и влагообеспеченности, это во многом усложняет изучение засоленности конкретных природных объектов. На рис. 1 приведены изменения запасов солей по годам (данные Е. И. Панковой).

При изучении засоленности можно попасть в период релаксации, т. е. в период достижения новой равновесной, стабильной засоленности. Внутренняя случайная пространственная изменчивость засоленности требует определенного объема информации для статистически достоверных оценок.

*Засоленность может направленно изменяться в многолетнем разрезе, но при стабильных внешних воздействиях, даже циклично изменяющихся, она достигает определенного уровня, стабильного в многолетнем разрезе значения, что автор предлагает называть галогеохимической емкостью или кратко — солеемкостью.* Солеемкость следует соотносить с геосистемой определенного ранга. Для практических целей следует устанавливать солеемкость каждой конкретной фации (по Л. С. Бергу) или элементарного ландшафта (по Б. Б. Польшину).

Емкостные характеристики наряду с миграционными являются фунда-



Рис. 1. Динамика средневзвешенного засоления метрового слоя почв ключевого участка по годам (Е. И. Панкова)

ментальными и подлежат обязательному изучению. Почва обладает многими емкостными свойствами: влагоемкостью — полной, максимальной молекулярной, максимальной гигроскопической; теплоемкостью; емкостью поглощения и др. В этом ряду свойств солеемкость должна занять добавочное ей значение [1].

Стабилизация засоленности возникает: а) при уравнивании приходных и расходных статей баланса, б) из-за затухания поступления солей. Для понимания этих процессов целесообразно использовать понятия биогеохимических барьеров. Некоторые из этих барьеров непосредственно влияют на количество и состояние солей в почве — отбор корнями растений, сорбция почвой, кристаллизация, диффузионный противоток солей, а другие барьеры влияют опосредствованно, модифицируя потоки почвенной влаги — изменение транспирации растениями вследствие засоления почвы. При этом возможно снижение продуктивности растений, а также трансформация растительного покрова, его галофитизация.

Возможность стабилизации засоленности допускалась рядом исследователей. Например, В. А. Ковда в 1950 г. говорил о кратности упаривания, С. Ф. Аверьянов в 1965 г. теоретически оценивал установившуюся засоленность, Ф. И. Козловский в 1972 г. упоминал кратность испарительного концентрирования при максимальном установившемся соленакоплении.

Стабилизацию засоленности нетрудно оценить при математическом моделировании этого процесса, если, конечно, в самой модели предусмотрены стабилизирующие факторы.

На рис. 2 показан процесс заполнения солеемкости супераквальной фации Колочной степи в Западной Сибири. Эти данные получены при моде-

лировании современного соленакопления в разных зонах и подзонах Западной Сибири, работа выполнена совместно с Почвенным институтом имени В. В. Докучаева при участии Е. И. Пановой и Н. И. Сотневой.

На рис. 2 моделировали случай изменения базиса эрозии (повышение уровня в естественных дренах с 3 до

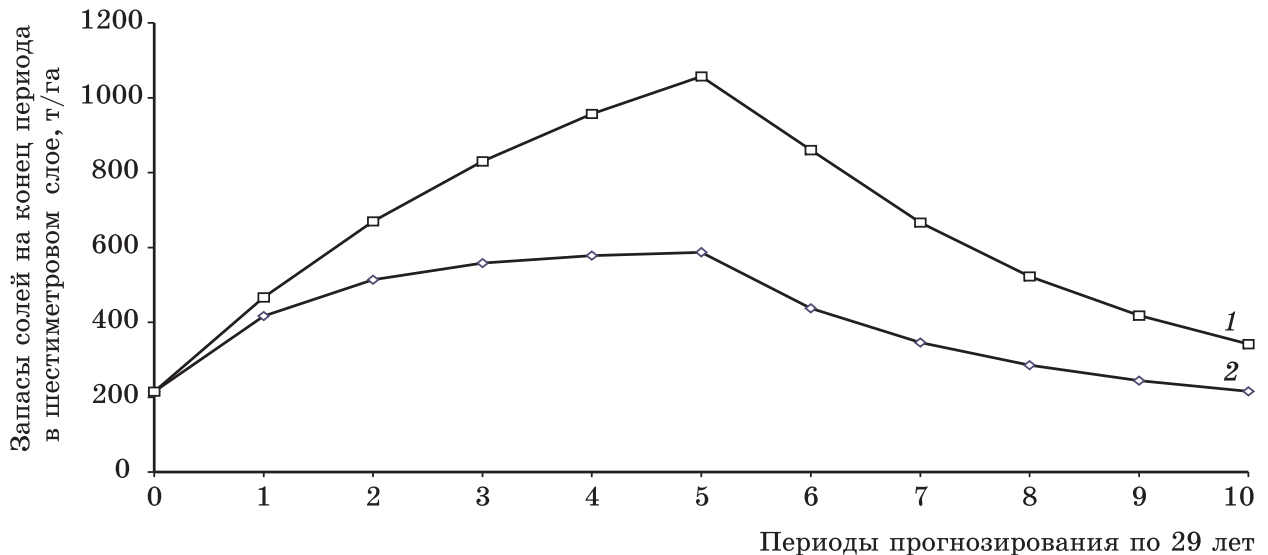


Рис. 2. Формирование соленакопления в почвах Колочной степи Западной Сибири при смене базиса эрозии (подъем уровня воды в дренах в течение пяти периодов по 29 лет и его опускание до прежнего значения): 1 — при величине коэффициента  $kks = 1$ ; 2 — при величине коэффициента  $kks < 1$

1,5 м) при регулярном притоке подземных вод с минерализацией 5 г/л. При базисе эрозии 3 м в результате моделирования длительного периода, равного 150 лет, в шестиметровом слое были установлены стабилизировавшиеся солезапасы — около 200 т/га. После повышения базиса эрозии и уменьшения глубины грунтовых вод сформировалась новая солеемкость рассматриваемой фации. Эта емкость стала заполняться, солезапасы стали увеличиваться, но с переменной скоростью, и через 90–100 лет практически стабилизировались на уровне около 600 т/га. При снятии подпора в естественных дренах были созданы условия для формирования исходной солеемкости (до подпора), вследствие этого солезапасы стали уменьшаться, правда, с меньшей скоростью, и восстановились на исходном уровне через 120–140 лет.

Солеемкость формируется при наличии механизма обратной связи, когда, например, учитывается снижение транспирации при угнетении растений из-за засоления почвы (при  $kks < 1$ ).

Любопытно, что учет дополнительного аэрального поступления солей в размере 200 кг/га в год не привел к адекватному увеличению запасов солей, а их содержание в слое 0,5 м практически не изменилось. Следовательно, солеемкость не зависит от способа ее заполнения.

Естественно, что понятие «солеемкость» нельзя отождествлять с таким понятием, как емкость сосуда. *Солеемкость — это стабильная среднесуточная засоленность или солезапасы, формирующиеся при стабильных внешних факторах.* Реальные запасы вследствие их динамичности могут существенно отличаться в разные годы.

Задачей солевых съемок в конечном итоге должна быть не фотография мгновенных солезапасов, что малоинформативно, а оценка солеемкости. Полевыми исследованиями она может быть оценена только после длительных многолетних измерений, что за редким исключением практически невозможно. Более перспективно совмещение полевых исследований с математическим моделированием длительных процессов. Естественно, что математические модели должны обладать достаточной полнотой для учета специфических природных процессов.

*Понятие «солеемкость» создает методологическую основу для мелиорации засоленных почв, которая должна сводиться к управлению солеемкостью, а не к разовому удалению солей, например при капитальных промывках.*

Для теоретической оценки солеемкости можно воспользоваться теоретическими разработками С. Ф. Аверьянова, опубликованными им еще в 1965 году [2]. В этой работе он, в частности, предложил способы оценки установившихся среднемноголетних запасов солей в аридной зоне при неглубоких минерализованных грунтовых водах. В несколько измененной трактовке автор рассмотрел одномерное вертикальное передвижение растворенных несорбируемых солей в результате диффузионного и конвективного переноса (вместе с движущейся влагой) при стационарных (в многолетнем разрезе) показателях водного режима: увлажнении осадками и поливами со среднегодовой интенсивностью  $v_2$ , м/сут, суммарном среднегодовом испарении  $v_1$ , м/сут, влагообмене между зоной аэрации мощностью  $h_T$  и грунтовыми водами, равном  $g = v_1 - v_2$ , м/сут. При превышении испарения над водоподачей ( $g > 0$ ) образуется капиллярное подпитывание зоны аэрации восходящими токами влаги и создаются условия для накопления солей в почвенном слое. По предложению С. Ф. Аверьянова примем, что в зоне мощностью  $h_{\text{кoc}}$  корни

растений используют влагу на транспирацию с постоянной по глубине интенсивностью, в результате в этой зоне вертикальный восходящий поток влаги изменяется по зависимости

$$v = v_1 x / h_{\text{кoc}} - v_2, \quad (1)$$

где  $x$  — вертикальная координата с началом отсчета на поверхности почвы и направленная вниз.

На поверхности почвы поток в среднем будет нисходящим, что приводит к максимальному засолению на некоторой глубине. Это более реальная картина, чем та, на которой вся транспирация считается происходящей с поверхности почвы, в этом случае солевой максимум расположен на поверхности почвы. Допущение о постоянстве среднемноголетней интенсивности влагоотбора корнями по глубине проверено автором в результате детального моделирования влаго- и солепереноса, основанного на решении нелинейных уравнений [3].

При превышении водоподачи над испарением ( $g > 0$ ) образуются промытые почвы, даже если поливы осуществляются водой с незначительной минерализацией  $C_{\text{пв}}$ , г/л или кг/м<sup>3</sup>.

В рассматриваемой постановке задачи принято, что грунтовые воды в многолетнем разрезе установились под действием суммы гидрогеологических факторов (естественное или искусственное дренирование, боковой приток или отток, фильтрационные потери из оросительной сети и др.) на некоторой постоянной глубине  $h_T$ , минерализация поверхности грунтовых вод  $C_{\text{ГВ}}$  поддерживается постоянной в силу существенного бокового притока.

Для описания установившейся эпюры концентрации почвенного раствора  $C$ , г/л или кг/м<sup>3</sup>, при поливе пресной водой целесообразно воспользоваться уравнением баланса солей для двух зон: первой — корнеобитаемой  $h_{\text{кoc}}$  и второй — транзитной с мощностью  $h_T - h_{\text{кoc}}$ :

$$\omega D_k dC_1/dx + (v_1 x / h_{\text{кoc}} - v_2) C_1 = 0; \quad (2)$$

$$\omega D_k dC_2/dx + g C_2 = 0, \quad (3)$$

где  $\omega$  — среднемноголетняя, осредненная по

глубине зоны аэрации объемная влажность почвы;  $D_k$  — коэффициент конвективной диффузии,  $m^2/сут$ ;

$$D_k = D_M + \lambda |v|, \quad (4)$$

где  $D_M$  — коэффициент молекулярной диффузии в покоящемся свободном растворе, примерно равный  $0,0001 m^2/сут$ ;  $\lambda$  — параметр дисперсии, учитывающий сложность строения порового пространства и вызванную этим дисперсию истинных скоростей движения влаги как по величине, так и по направлению, зависит от механического и агрегатного состава почв и грунтов, их агрегации; для песчаных и супесчаных почв и грунтов данный параметр равен примерно  $0,2 m$ , для тяжелосуглинистых и глинистых —  $0,5...1 m$ , для почв с активным образованием микро- и макроагрегатов может превышать  $1 m$ .

Для решения системы уравнений (2)...(3) приняты следующие граничные условия:

$$\text{при } x = h_T, C_2 = C_{ГВ};$$

$$\text{при } x = h_{\text{кос}}, C_1 = C_2.$$

В процессе решений получены выражения:

для корнеобитаемой зоны

$$C_1 = C_{ГВ} \exp\left[\frac{g(h_T - h_{\text{кос}})}{\omega D_k}\right] \times \exp\left[\frac{v_1(h_{\text{кос}}^2 - x^2)}{2\omega D_k h_{\text{кос}}} - \frac{v_2(h_{\text{кос}} - x)}{\omega D_k}\right], \quad \text{или}$$

$$C_1 = C_{ГВ} \exp\left[2Pe(1 - \bar{v})(\bar{h}_T - 1)\right] \times \exp\left[Pe(1 - \bar{x}^2) - 2Pe\bar{v}(1 - \bar{x})\right];$$

для подстилающей ее транзитной зоны

$$C_2 = C_{ГВ} \exp\left[\frac{g(h_T - x)}{\omega D_k}\right], \quad \text{или}$$

$$C_2 = C_{ГВ} \exp\left[2Pe(\bar{h}_T - \bar{x})\right],$$

где  $Pe = \frac{v_1 h_{\text{кос}}}{2\omega D_k}$  — безразмерный параметр Пекле;

$\bar{v} = v_2 / v_1$ ;  $\bar{h}_T = h_T / h_{\text{кос}}$ ;  $\bar{x} = x / h_{\text{кос}}$ .

Максимальное значение концентрации солей характерно для корнеобитаемой зоны при  $\bar{v} = v_2 / v_1 \leq 1$  или при  $g > 0$  на глубине  $x_{\text{max}} = h_{\text{кос}} \bar{v}$  (рис. 3, 4).

Оценить галоемкость почвенного слоя, т. е. максимальные среднемноголетние запасы солей, которые могут накопиться при постоянных гидрогеохимических факторах, С. Ф. Аверьянову помогла выведенная им формула средней концентрации по корнеобитаемому слою [2, 4]. После некоторой модификации формула приобретает сле-

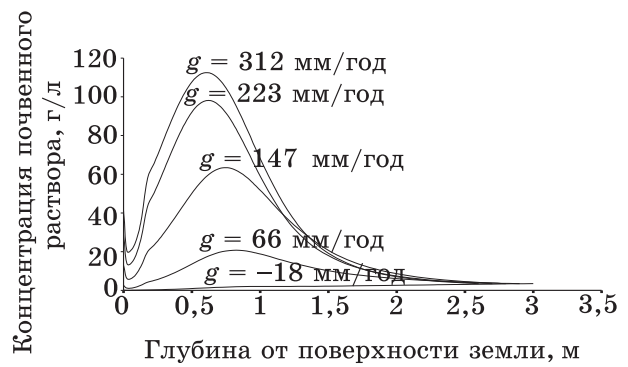


Рис. 3. Результаты моделирования соленакопления по глубине: установившиеся эпюры засоления при разных  $g$

Запасы солей в слое 1 м, %

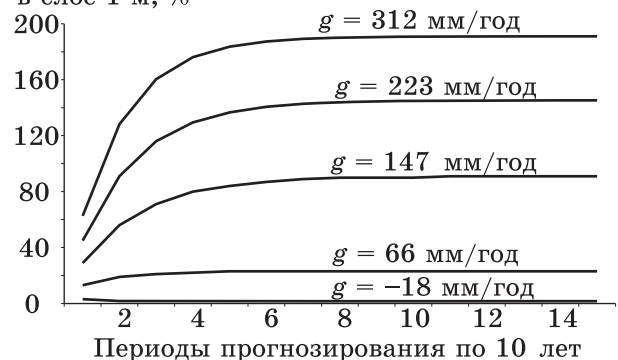


Рис. 4. Результаты моделирования процессов засоления при ГТВ = 2,8 м, минерализации грунтовых вод 3,5 г/л, разным водообмене  $g$ , мм/год

дующий вид (при  $h_{\text{кос}} = h_T$ , т. е. при отсутствии транзитной зоны):

$$C_1^{\text{cp}} = 0,886 C_{ГВ} Pe^{-0,5} \times \exp\left[2Pe(1 - \bar{v})(\bar{h}_T - 1)\right] \times \exp\left[Pe(1 - \bar{v})^2\right] \left\{ \text{erf}\left[Pe^{0,5}(1 - \bar{v})\right] + \text{erf}\left[Pe^{0,5}\bar{v}\right] \right\}, \quad (5)$$

где  $\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du$  — специальная функция, связанная с интегралом вероятности  $\Phi(z)$

соотношением  $\Phi(z) = \text{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right)$ .

Переход от концентрации к содержанию солей в общепринятых единицах, т. е. в % сухой массы почвы, осуществляется по формуле

$$n_{\text{cp}} = 0,1 C_1^{\text{cp}} \omega / \gamma, \quad (8)$$

где  $g$  — плотность почвы,  $г/см^3$ .

Пример расчета солеемкости. Оценить солеемкость участка, на кото-

рый со стороны поступает значительное количество минерализованных подземных вод с концентрацией  $C_{ГР} = 10$  г/л. Испарение — максимальное, водоподача на орошение — ограниченная. Плотность почвы  $g = 1,25$  г/см<sup>3</sup>; средняя влажность корнеобитаемого слоя  $w = 0,25$  объема; среднегодовое суммарное испарение из корнеобитаемого слоя  $v_1 = 730$  мм/год, или  $0,002$  м/сут; средняя водоподача на поля  $v_2 = 500$  мм/год, или  $0,00137$  м/сут (следовательно, недостаток водоподачи компенсируется капиллярным подпитыванием:  $g = 730 - 500 = 230$  мм/год); параметр дисперсии для суглинистых грунтов  $\lambda = 0,5$  м; коэффициент конвективной диффузии  $D_k = 0,5 \cdot 0,002 = 0,001$  м<sup>2</sup>/сут; толщина корнеобитаемого слоя  $h_{кос} = 1$  м; параметр Пекле  $Pe = \frac{v_1 h_{кос}}{2 \omega D_k} = \frac{0,002 \cdot 1}{2 \cdot 0,25 \cdot 0,001} = 4$ ; отношение скоростей  $\bar{v} = v_2 / v_1 = 0,00137 / 0,002 = 6,85$ . По номограмме на рис. 5 находим среднюю по корнеобитаемо-

му слою относительную концентрацию солей в почвенном растворе при  $C_{ГР} = 10$  г/л:  $C_1^{cp} = 10 \cdot 52 = 520$  г/л, а по формуле (6) находим содержание солей:  $n_{cp} = 0,1 C_1^{cp} \omega / \gamma = 0,1 \cdot 520 \cdot 0,25 / 1,2 = 10,83$  % сухой массы почвы, т.е. при таких факторах соленакопления солемкость будет очень велика, для ее снижения надо улучшить структуру водного режима, т.е. соотношение испарения и водоподачи. Если увеличить водоподачу до  $650$  мм/год или до  $0,00186$  м/сут соотношение скоростей возрастет:  $\bar{v} = v_2 / v_1 = 0,00186 / 0,002 = 0,93$ ;  $C_1^{cp} = 10 \cdot 1,19 = 11,9$  г/л, а  $n_{cp} = 0,1 C_1^{cp} \omega / \gamma = 0,1 \cdot 11,9 \cdot 0,25 / 1,2 = 0,25$  %, т.е. почва, по классификации В. В. Егорова, станет практически незасоленной [5].

### Выводы

Рекомендуемый способ капитальной промывки, как разовое мероприятие, успеха иметь не будет, так как не устраняется причина засоления (в данном примере главная причина засоления — значительный приток

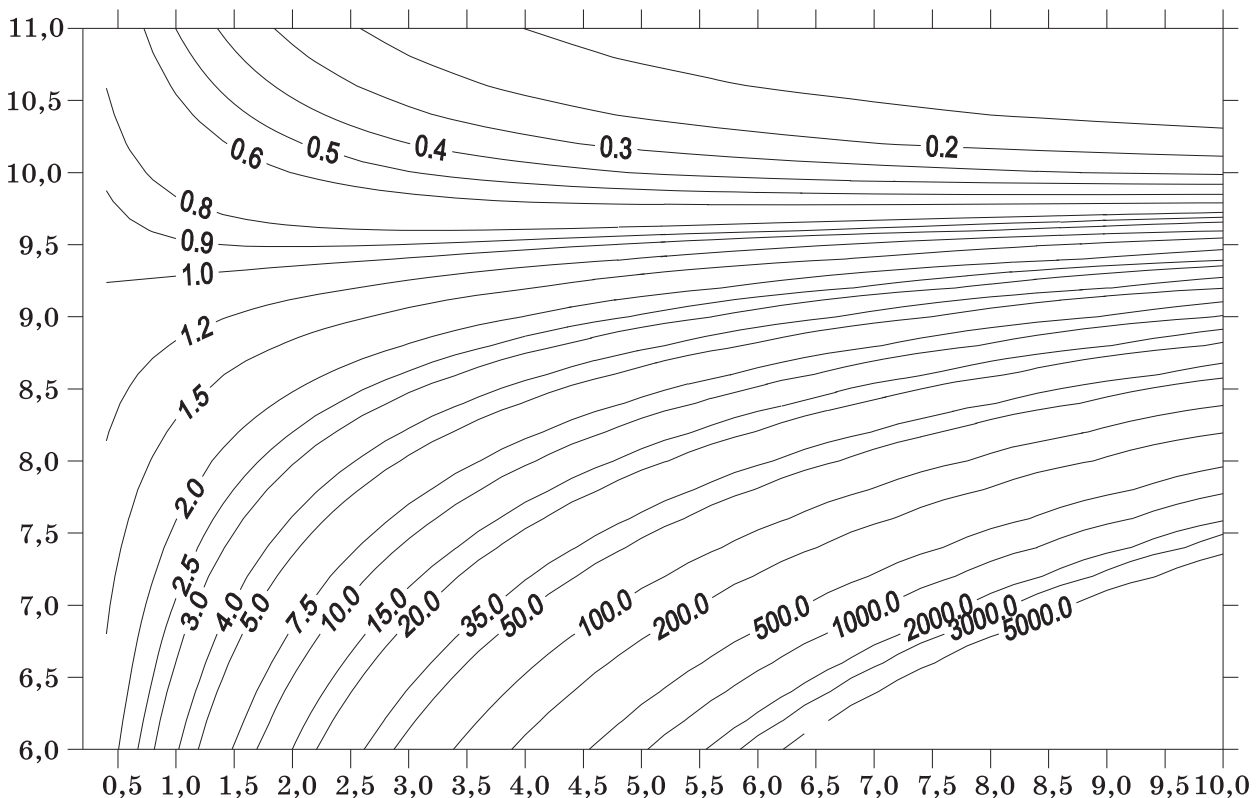


Рис. 5. Номограмма для расчета по формуле (5) установившегося засоления в долях от минерализации ГВ  $C_1^{cp} / C_{ГВ}$  при разных параметрах Пекле (ось абсцисс), по оси ординат отложены:  $10\bar{v}$ , где  $\bar{v} = v_2 / v_1$ ;  $g = v_1 - v_2$ ;  $v_1$  — испарение;  $v_2$  — среднегодовая водоподача (осадки и поливы); глубина грунтовых вод — 2,6 м; корнеобитаемый слой — 1 м; минерализация грунтовых вод — 2,6 г/л

сильно минерализованных подземных вод). После промывки процесс засоления быстро реставрируется. Увеличение водоподачи с 500 до 650 мм/год на постоянной основе регулирует солеемкость участка и доводит ее до приемлемого уровня. Можно понизить минерализацию притекающих на участок подземных вод, скажем, с 10 до 1 г/л, тогда солеемкость снизится до 1 %, но этого недостаточно, да и осуществить очень трудно.

**Ключевые слова:** *Колочная степь, солеемкость, биогеохимические барьеры, минерализация поверхности грунтовых вод, фильтрационные потери, галоемкость почвенного слоя, структура водного режима, способ капитальной промывки.*

УДК 502/504:631.674

**М. С. Григоров, академик Россельхозакадемии**  
**С. М. Григоров, доктор техн. наук, профессор**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия»

## СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ДЛЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

*Фермерские хозяйства Волгоградской области могут освоить все способы полива, но выбор должен быть сделан в пользу того, который наиболее приемлем в заданных условиях с учетом особенностей возделывания и характера обработки культур, рельефа и уклона местности, свойств почвы, организационно-хозяйственных видов деятельности.*

*The farmers' economies of the Volgograd area can master all the methods of irrigation but the choice should be done in favor of that one which is the most suitable in the given conditions taking into account peculiarities of cultivation and character of treatment of crops, relief and slope, soil properties, economic-organizing kinds of activity.*

Для фермерских хозяйств Волгоградской области целесообразно применять все существующие способы полива, при этом учитывать географическое расположение хозяйства, тип почв, рельеф, направление хозяйственной деятельности (производство кормов для животных, выращивание зерновых культур, овощеводство, плодоводство, виноградарство, тепличное овощеводство, прудовое рыбоводство, птицеводство и др.). Обязательно учитывать и

- Список литературы**
1. Голованов, А. И. Ландшафтоведение [Текст] / А. И. Голованов, Е. С. Кожанов, Ю. И. Сухарев. — М. : КолосС, 2005. — 216 с.
  2. Аверьянов, С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР [Текст] / С. Ф. Аверьянов // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. — М. : Колос, 1965. — С. 90–151.
  3. Голованов, А. И. Оценка направленности и интенсивности процесса соленакопления (на примере почв юга Западной Сибири) [Текст] / А. И. Голованов, Е. И. Панкова, Н. И. Сотнева // Почвоведение. — 2002. — № 5. — С. 531–544.
  4. Аверьянов, С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель [Текст] / С. Ф. Аверьянов. — М. : Колос, 1978. — 228 с.
  5. Плюснин, И. И. Мелиоративное почвоведение / И. И. Плюснин, А. И. Голованов. — М. : Колос, 1983. — 318 с.

затраты на электроэнергию, горючесмазочные материалы, оборудование для устройства оросительной сети, на необходимый инвентарь и инфраструктуру. Наиболее дешевыми по затратам являются *поверхностные поливы*, для пропашных культур — *поливы по бороздам*, для культур сплошного сева — *поливы по полосам*, а для возделывания риса — *поливы затоплением чеков*. Нельзя исключать и *лиманное орошение* — самый дешевый и простой