

Научная статья

УДК 631.432.1:631.445.52:631.67

**Методы прогнозирования уровней грунтовых
вод и засоления почв на орошаемых землях**

**Рахимджан Каримович Икрамов¹, Самандар Маматкулович Гаппаров²,
Зиядулла Таштемирович Джумаев³, Абдухолик Абдурашидович Утаев⁴**

^{1, 2, 3, 4} Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Карасу-4/11,
Ташкент, Республика Узбекистан, ismiti@minwater.uz

¹<https://orcid.org/0000-0002-7863-1545>

²<https://orcid.org/0000-0003-4425-2181>

³<https://orcid.org/0000-0003-3313-3961>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-7006-1456>

Аннотация. Цель: формулирование мелиоративно-технологических принципов управления водно-солевым режимом орошаемых земель в условиях водохозяйственной и экологической напряженности. Предлагаемая методология управления позволяет взаимосогласовывать посредством обеспечения оптимального водно-солевого режима почв водно-мелиоративную деятельность, систему сельхозпроизводства и урожайность растений, а также требования охраны окружающей среды. **Материал и методы.** Оценка и улучшение мелиорации земель осуществляется методом общего и частного водно-солевого балансов с использованием фондовых материалов о мелиоративном участке. **Результаты и обсуждение.** Предлагаемая методология заключается в усовершенствованных методиках принятия научно обоснованных управленческих решений по основным мерам воздействия на водно-солевой режим орошаемых земель, техническое состояние и эксплуатационную надежность дренажных систем посредством ремонтно-восстановительных работ, а также в разработанных технологических принципах создания информационной системы. Использование данного метода позволяет оценить мелиоративное состояние территорий, выбранных в качестве объекта исследования, и рекомендовать меры, которые необходимо применить, выбрав варианты мероприятий в компьютерной программе, для улучшения состояния орошаемых территорий. **Выводы.** Использование упомянутых выше общего и частного водно-солевого балансов дает возможность улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель, поддерживать уровень грунтовых вод на критической глубине, повысить урожайность сельскохозяйственных культур, дренажность земель, улучшить водообеспеченность мелиоративного участка.

Ключевые слова: баланс, уровень, грунтовые воды, зона аэрации, корнеобитаемый слой, засоление, почвы

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 28 февраля 2023 г.).

Для цитирования: Методы прогнозирования уровней грунтовых вод и засоления почв на орошаемых землях / Р. К. Икрамов, С. М. Гаппаров, З. Т. Джумаев, А. А. Утаев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 170–178.

Original article

Methods for predicting water table and soil salinization on irrigated lands

**Rakhimdzhon K. Ikramov¹, Samandar M. Gapparov², Ziyadulla T. Djumaev³,
Abdukholik A. Utaev⁴**

^{1, 2, 3, 4}Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Karasu-4/11, Tashkent,
Republic of Uzbekistan, ismiti@minwater.uz

¹<https://orcid.org/0000-0002-7863-1545>

²<https://orcid.org/0000-0003-4425-2181>

³<https://orcid.org/0000-0003-3313-3961>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-7006-1456>

Abstract. Purpose: identifying reclamation and technological concepts of management of water-salt regime of irrigated lands under conditions of water management and environmental tension. The proposed management methodology makes it possible to coordinate water-reclamation activities, agricultural production system and plant yield, as well as environmental protection requirements by ensuring optimal water-salt regime of soils. **Material and methods.** Assessment and improvement of land reclamation is carried out by the method of general and private water-salt balances using stock materials of the reclamation site. **Results and discussion.** The proposed methodology consists in the improved methods of making scientifically sound management decisions on the impact measures on the water-salt regime of irrigated lands; the technical condition and operational reliability of drainage systems by repair and restoration work, as well as the developed technological principles of creating an information system. The use of this method makes it possible to assess the reclamation condition of the territories selected as the object of research and recommend measures that need to be applied by selecting options in a computer program to improve the condition of irrigated territories. **Conclusions.** The use of the above-mentioned general and private water-salt balances makes it possible to improve the reclamation condition of irrigated lands, maintain the groundwater level at a critical depth, increase crop yields, increase land drainage, improve water availability of the reclamation site.

Keywords: balance, level, groundwater, aeration zone, root-inhabited layer, salinization, soils

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 28, 2023).

For citation: Ikramov R. K., Gapparov S. M., Djumaev Z. T., Utaev A. A. Methods for predicting water table and soil salinization on irrigated lands. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2023;1(89):170–178. (In Russ.).

Введение. В орошаемых районах остается весьма важной проблема предупреждения засоления и рассоления плодородных земель, вышедших из сельскохозяйственного оборота вследствие подъема минерализованных грунтовых вод и засоления почв. На этих землях необходимо создание оптимальных мелиоративных режимов почв определенным сочетанием режима орошения, промывок и искусственного дренажа.

Важными элементами при расчетном обосновании проектных мелиоративных режимов и непосредственной реализации их в натуре являются концентрация почвенного раствора и минерализация грунтовых вод. Прогнозу указанных элементов посвящено значительное количество работ [1–6]. Однако в них рассматривается прогнозирование сезонных, годовых или многолетних значений и в большинстве случаев на период освоения (подъема грунтовых вод). Методика же прогнозирования, рассчитанная

на более короткий промежуток времени (например, по месяцам), особенно необходимая при эксплуатации крупных гидромелиоративных систем, в настоящее время отсутствует. Анализ эффективности фактических мелиоративных режимов на многих гидромелиоративных системах Узбекистана и Южного Казахстана показал, что при составлении проектов мелиорации также необходимо производить указанные прогнозы в месячном разрезе для более полного учета природно-хозяйственных условий объектов и установления оптимальных технико-экономических параметров систем.

Для прогнозных расчетов на крупных орошаемых массивах, мелиорируемых различными типами дренажа, наиболее целесообразно использование балансового метода [7–9].

Балансовые расчеты рекомендуется выполнять в разрезе месяца, так как в качестве исходных используются данные эксплуатационных служб и, кроме того, эмпирические зависимости для определения эвапотранспирации установлены на основании среднемесячных значений входящих в них элементов.

При мелиорации засоленных земель с близким залеганием грунтовых вод важно знать минерализацию их поверхностного слоя, который оказывает непосредственное влияние на почвообразовательные процессы.

Материалы и методы. Расчеты концентрации почвенного раствора и минерализации грунтовых вод требуют решения следующих задач:

- прогноз глубин уровня грунтовых вод;
- прогноз водно-солевого баланса зоны аэрации и корнеобитаемого слоя сельскохозяйственных растений;
- прогноз баланса грунтовых вод.

Прогнозные глубины грунтовых вод можно рассчитать, используя уравнение общего водного баланса по С. Ф. Аверьянову, м³/га:

$$W_{\text{к}}^{\text{общ}} - W_{\text{н}}^{\text{общ}} = O_{\text{с}} + O_{\text{р}} + \Phi_{\text{мг}} + \Phi_{\text{мх}} + \Phi_{\text{вх}} + \Pi - ET_{\text{м}} - C - Q \pm P - D_{\text{г}} - D_{\text{в}},$$

где $W_{\text{к}}^{\text{общ}} - W_{\text{н}}^{\text{общ}}$ – конечные и начальные запасы влаги на мелиорируемой территории;

$O_{\text{с}}$ – атмосферные осадки, м³/га;

$O_{\text{р}}$ – водоподача на орошаемые поля (нетто), м³/га;

$\Phi_{\text{мг}} + \Phi_{\text{мх}} + \Phi_{\text{вх}}$ – потери на фильтрацию соответственно из магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов, м³/га;

Π – подземный приток на мелиорируемую территорию со стороны, м³/га;

$ET_{\text{м}}$ – эвапотранспирация с поверхности орошаемого массива, м³/га;

C – суммарные сбросы ирригационных вод, м³/га;

Q – боковой отток подземных вод, м³/га;

$\pm P$ – вертикальный водообмен балансового слоя с глубокими подземными водами, м³/га;

$D_{\text{г}}$ – выклинивание грунтовых вод в горизонтальный дренаж, м³/га;

$D_{\text{в}}$ – объем откачек вертикального дренажа, м³/га.

Запасы влаги в различных почвогрунтах в расчетах выражаются как функция глубины грунтовых вод, т. е. $W^{\text{общ}} = f(H)$. Значения их, соответствующие заданным глубинам грунтовых вод, определяются по таблицам, составленным для толщи почвогрунтов 4,5–5,0 м с использованием формулы И. А. Енгулатова [7], м³/га:

$$W_{\text{н}} = (4,5 \cdot n - h_{\text{н}} \cdot A \cdot \sqrt[3]{H}) 10000,$$

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT
IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

где n – пористость;

h_n – уровень грунтовых вод в начале вегетационного периода, м;

A – параметр, характеризующий проницаемость почвогрунтов (для однородных суглинистых грунтов $A = 0,11$, тяжелых – $0,12$, слоистых – $0,15$);

H – глубина грунтовых вод, м.

При расчетах общего водного баланса мелиорируемой территории принимаются удельные значения элементов, отнесенные к валовой площади рассматриваемого контура.

Для прогноза минерализации поверхностного слоя грунтовых вод необходимо составить баланс грунтовых вод, водно-солевые балансы зоны аэрации мелиорируемой территории и поверхностного слоя грунтовых вод.

Баланс грунтовых вод, $\text{м}^3/\text{га}$:

$$\Delta W_{\text{гр}} = \Delta h \sigma 10^4 = \Phi_{\text{МК}} + \Phi_{\text{МХ}} + \alpha \Phi_{\text{ВХ}} \pm g + \underline{\Pi} - \underline{Q} \pm P - D_{\Gamma} - D_{\text{В}}.$$

Водный баланс зоны аэрации, $\text{м}^3/\text{га}$:

$$W_{\text{К}}^a - W_{\text{Н}}^a = O_{\text{с}} + O_{\text{р}} + (1 - \alpha) \Phi_{\text{ВХ}} - ET_{\text{В}} - C \pm g.$$

Солевой баланс зоны аэрации, $\text{т}/\text{га}$:

$$C_{\text{К}}^a - C_{\text{Н}}^a = CO_{\text{р}} + C_{(1-\alpha)} \Phi_{\text{ВХ}} - C_{\text{с}} \pm C_{\text{г}}.$$

Солевой баланс поверхностного слоя грунтовых вод, $\text{т}/\text{га}$:

$$C_{\text{К}}^{\Gamma} - C_{\text{Н}}^{\Gamma} = C_{\alpha} \cdot \Phi_{\text{ВХ}} \pm C_{\text{г}} - C_{\text{q}} \pm C_{\text{Д}} \pm C_{\text{З}},$$

где $\Delta W_{\text{гр}} = \Delta h \sigma 10^4$ – изменение запасов грунтовых вод за расчетный период, $\text{м}^3/\text{га}$;

$\Delta H = H_{\text{К}}^a - H_{\text{Н}}^a$ – изменение уровня грунтовых вод за расчетный период, $\text{м}^3/\text{га}$;

σ – коэффициент водоотдачи при снижении уровня грунтовых вод или недостатка насыщения при их подъеме;

$W_{\text{К}}^a - W_{\text{Н}}^a$ – начальные запасы влаги в зоне аэрации, $\text{м}^3/\text{га}$;

α – доля фильтрации из каналов, поступающая на питание грунтовых вод;

q – водообмен между зоной аэрации и грунтовыми водами, $\text{м}^3/\text{га}$;

g – отток грунтовых вод из расчетного поверхностного слоя в нижележащие, $\text{м}^3/\text{га}$;

$C_{\text{К}}^{\Gamma} - C_{\text{Н}}^{\Gamma}$ – содержание солей в зоне аэрации в начале и конце расчетного периода, $\text{т}/\text{га}$;

$CO_{\text{р}}$, $C_{(1-\alpha)} \Phi_{\text{ВХ}}$, $C_{\text{г}}$, C_{q} – содержание солей в соответствующих элементах водного баланса, $\text{т}/\text{га}$;

$C_{\text{Д}} \pm C_{\text{З}}$ – диффузионный и адсорбционный солеобмен между расчетным слоем грунтовых вод и соседними слоями, $\text{т}/\text{га}$.

Солевой баланс поверхностного слоя грунтовых вод составляется с использованием методического подхода, рекомендованного Н. И. Парфеновой и несколько видоизмененного нами применительно к условиям решаемой задачи [1, 5, 6]; при прогнозе минерализации грунтовых вод принимается, что сосредоточенная фильтрация из постоянно действующих магистральных и межхозяйственных каналов, обуславливая повышение уровня грунтовых вод, не вызывает их разбавления, $\text{т}/\text{га}$:

$$C_{\text{Н}}^a = H_{\text{К}}^a \cdot \rho \cdot S_{\text{Н}}^a \cdot \varphi \cdot 100,$$

где $S_{\text{Н}}^a$ – начальное содержание солей в почвогрунтах зоны аэрации в процентах от веса сухого грунта;

ρ – объемная масса почвогрунтов зоны аэрации, т/м³;

φ – коэффициент перехода водных вытяжек на исходные расчетные запасы солей, по данным П. С. Панина, изменяется от 1,1 для хлоридных до 1,41 для сульфатных почв [5].

Вынос солей из зоны аэрации инфильтрационными водами $\pm g$ определяется по формуле П. С. Панина, видоизмененной Н. Н. Ходжибаевым и В. Г. Самойленко [9], т/га:

$$C_g = C^a \left(1 - \frac{1}{\exp \frac{K_a}{\gamma}} \right),$$

где γ – постоянная вымывания, значения которой изменяются от 1,5 для хлоридных до 4,25 для сульфатных почв;

K_a – кратность водообмена в почвогрунтах зоны аэрации. Так как объем инфильтрации ($\pm g$) устанавливается непосредственно из водно-балансовых расчетов, то K_a можно определить как:

$$K_a = \frac{g}{hm_\alpha \cdot 10^4},$$

где h – уровень грунтовых вод, м;

m_α – активная пористость почвогрунтов зоны аэрации в долях единицы.

В случае подпитывания зоны аэрации грунтовыми водами, т/га:

$$C_g = 10^{-30} \cdot g_1 \cdot \mu_{\Gamma}^{\text{ПВ}},$$

где $\mu_{\Gamma}^{\text{ПВ}}$ – средняя минерализация грунтовых вод за расчетный период, г/л.

В условиях близкого залегания уровня грунтовых вод роль C_d и C_z в формировании их минерализации невелика. Гидрохимический режим при этом формируется в основном за счет эвапотранспирации грунтовых вод и инфильтрации с полей орошения [10].

Содержание солей в зоне аэрации на конец расчетного периода определяется как, т/га:

$$C_K^a = C_H^a \pm C_g + C_{o_p} + C_{(1-\alpha)} \Phi_{в/х} + C_{В_{КДС}} - C_{\Pi}.$$

В связи с тем, что во внутригодовом разрезе минерализация и глубина грунтовых вод подвержены значительным колебаниям, расчетная мощность (H_0) поверхностного слоя грунтовых вод принимается равной 1,0 м.

Отток грунтовых вод из расчетного слоя (g) в нижележащие слои определяется следующим образом:

а) при подъеме уровня грунтовых вод, м³/га:

$$g = \alpha \cdot \Phi_{в/х} \pm q - (\Delta W_{\Gamma} - \Phi_{\text{мг}} - \Phi_{\text{м/х}});$$

б) при спаде уровня грунтовых вод, м³/га:

$$g = \alpha \cdot \Phi_{в/х} \pm q;$$

в) при $\alpha \cdot \Phi_{в/х} < |q|$ $q = 0$.

Элементы солевого баланса поверхностного слоя грунтовых вод рассчитываются по формулам:

$$C_H^\Gamma = H_0 \cdot S_H^\Gamma \cdot \rho \cdot \varphi \cdot 100, \text{ т/га,}$$

$$C_q = C_H^\Gamma \cdot 1 - \frac{1}{\exp \frac{K_0}{\gamma}}, \text{ т/га,}$$

$$K_0 = \frac{q}{H_0 \cdot m_\alpha \cdot 10000},$$

$$C_K^\Gamma = C_H^\Gamma - C_{\alpha\Phi\text{в/х}} \pm C_g - C_q, \text{ т/га,}$$

$$S_K^\Gamma = \frac{C_K^\Gamma}{H_0 \cdot \rho \cdot \varphi \cdot 100}, \text{ т/га,}$$

$$\mu_K^\Gamma = \frac{S_K^\Gamma}{\theta},$$

где S_H^Γ, S_K^Γ – начальное и конечное содержание солей в почвогрунтах расчетного слоя грунтовых вод, % от веса сухого грунта;

θ – коэффициент перерасчета содержания солей в почвогрунтах (%) для выражения минерализации грунтовых вод, г/л.

Прогноз солевого режима зоны аэрации и корнеобитаемого слоя сельскохозяйственных растений производится следующим образом. Составляются водно-солевые балансы зоны аэрации орошаемого поля:

$$\Delta W^a = O_c + O_p^1 - C^1 - ET_n \pm q^1, \text{ м}^3/\text{га,}$$

$$\Delta C_a^1 = C_{op}^1 - C_c^1 \pm C_q^1, \text{ т/га.}$$

При составлении водно-солевого баланса почвогрунтов корнеобитаемого слоя мощность его (H_{kc}) в течение вегетационного периода разная в зависимости от фазы развития растений.

Уравнение солевого баланса корнеобитаемого слоя имеет вид, т/га:

$$C_{KC}^K - C_{KC}^H = \pm C_q^1 + C_{op}^1 - C_c^1,$$

где C_{KC}^K, C_{KC}^H – конечное и начальное содержание солей в корнеобитаемом слое;

$\pm C_q^1$ – солеобмен корнеобитаемого слоя с нижележащими;

при инфильтрации:

$$q^1 = O_c + O_p^1 - C^1 - ET_n - H_{ko}(n - W_{kc}) \cdot 10000,$$

а при восходящем токе влаги $q^1 = g^1$.

В случае нисходящих токов через зону аэрации перенос солей инфильтрационными водами в нижележащие слои определяется как, т/га:

$$-C_q^1 = C_{kc}^H \left(1 - \frac{1}{\exp \frac{K_{kc}}{j}}\right),$$

где K_{kc} – кратность водообмена в почвогрунтах корнеобитаемого слоя:

$$K_{kc} = \frac{O_c - O_p^1 - C^1 - ET_n - H_{kc}(n - W_{kc}) \cdot 10000}{H_{kc}(n - W_{kc}) \cdot 10000}.$$

Перенос же солей восходящими токами влаги по капиллярам в корнеобитаемый слой определяется как, т/га:

$$+ C_q^1 = 0,001 \cdot \mu_{BT}^k \cdot g^1,$$

$$\mu_{BT}^k = \frac{C_{Ha-Hkc}^H - 0,001 \cdot q^1 \cdot (\mu_{BT}^H - \mu^Г) \cdot \delta}{(H_a - H_{kc}) \cdot W_{Ha-Hkc} \cdot 10000},$$

$$\mu_{BT}^H = \frac{C_{Ha-Hkc} \cdot \delta}{(H_a - H_{kc}) \cdot W_{Ha-Hkc} \cdot 10000},$$

где μ_{BT}^k , μ_{BT}^H – минерализация восходящего тока влаги, подпитывающей корнеобитаемый слой, в конце и начале расчетного периода, г/л;

C_{Ha-Hkc}^H – содержание солей в почвогрунтах в промежутке от уровня грунтовых вод до корнеобитаемого слоя;

W_{Ha-Hkc} – влажность почвы в промежутке от уровня грунтовых вод до корнеобитаемого слоя;

δ – коэффициент перерасчета от содержания солей в почвогрунтах к минерализации почвенного раствора. По П. С. Панину, значение его изменяется от 0,820 для хлоридных до 0,535 для сульфатных почв [5].

Концентрация почвенного раствора корнеобитаемого слоя, исходя из степени засоления его, определяется как, т/га:

$$\mu_{kp} = \frac{C_{kc} \cdot \delta}{H_{kc} \cdot W_{kc} \cdot 10000}.$$

Результаты и обсуждение. Предлагаемая методология заключается в усовершенствованных методиках принятия научно обоснованных управленческих решений по основным мерам воздействия на водно-солевой режим орошаемых земель, техническое состояние и эксплуатационную надежность дренажных систем с помощью ремонтно-восстановительных работ, а также в разработанных технологических принципах создания информационной системы. Использование данного метода позволяет оценить мелиоративное состояние территорий, выбранных в качестве объекта исследования, и рекомендовать меры, которые необходимо применить, выбрав варианты мероприятий в компьютерной программе, для улучшения состояния орошаемых территорий. Необходимо также подчеркнуть, что этот метод является наиболее подходящим для реального анализа мелиоративного состояния орошаемых земель.

Выводы. Данная методика может быть использована при расчетном обосновании режима орошения сельскохозяйственных культур и планировании мероприятий по эксплуатации оросительных и дренажных систем. Также возможен расчет водно-солевого баланса сельскохозяйственных культур в вегетационный и «невегетационный» периоды, коэффициента дренированности мелиоративного участка, промывного режима орошения участка, уровня водообеспеченности.

Список источников

1. Методические рекомендации по прогнозу режима уровня и минерализации грунтовых вод в условиях орошения / сост.: В. А. Барон, Н. И. Парфенова; М-во геологии СССР, ВСЕГИНГЕО. М., 1973. 103 с.

2. Икрамов Р. К. Принципы управления водно-солевым режимом орошаемых земель Средней Азии в условиях дефицита водных ресурсов. Ташкент: Гидроингео, 2001. 191 с.

3. Ковда В. А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1975. Кн. 1. 446 с.
4. Минашина Н. Г. Критический солевой режим орошаемых почв и дренажа грунтовых вод под хлопчатником // Почвоведение. 1970. № 1. С. 12–18.
5. Панин П. С. Процессы солеотдачи в промывных толщах почв. Новосибирск: Наука, 1966. 296 с.
6. Парфенова Н. И. Прогноз минерализации грунтовых вод в районах орошения // Гидротехника и мелиорация. 1982. С. 50–58.
7. Енгулатов И. А. К вопросу расчета запасов влаги в зоне аэрации почвогрунтов // Труды САНИИРИ. Ташкент, 1969. Вып. 119. С. 41–48.
8. Жернов И. Е. Прогноз режима подземных вод на мелиорируемых землях // Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. Минск, 1972. Вып. 4. С. 25–32.
9. Ходжибаев Н. Н., Самойленко В. Г. Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы. Ташкент: Фан, 1976. 358 с.
10. Щебеко В. Ф., Закржевский П. И., Брагилевский З. А. Гидрогеологические расчеты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 312 с.

References

1. Baron V.A., Parfenova N.I., 1973. *Metodicheskie rekomendatsii po prognozu rezhima urovnya i mineralizatsii gruntovykh vod v usloviyakh orosheniya* [Guidelines for Forecasting the Regime of the Level and Mineralization of Groundwater under Irrigation]. Ministry of Geology of the USSR, VSEGINGEO, Moscow, 103 p. (In Russian).
2. Ikramov R.K., 2001. *Printsipy upravleniya vodno-solevym rezhimom oroshaemykh zemel' Sredney Azii v usloviyakh defitsita vodnykh resursov* [Principles of Water-Salt Regime Management in Irrigated Lands of Central Asia during the Water Scarcity]. Tashkent, Gidroingeo, 191 p. (In Russian).
3. Kovda V.A., 1975. *Osnovy ucheniya o pochvakh* [Fundamentals of Soil Study]. B. 1, Moscow, Nauka Publ., 446 p. (In Russian).
4. Minashina N.G., 1970. *Kriticheskiy solevoy rezhim oroshaemykh pochv i drenazha gruntovykh vod pod khlopchatnikom* [The critical salt regime of irrigated soils and drainage of groundwater under cotton]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1, pp. 12-18. (In Russian).
5. Panin P.S., 1966. *Protsessy soleotdachi v promyvnykh tolshchakh pochv* [The Salt-Release Processes in Leached Soil Strata]. Novosibirsk, Nauka Publ., 296 p. (In Russian).
6. Parfenova N.I., 1982. *Prognoz mineralizatsii gruntovykh vod v rayonakh orosheniya* [Forecast of groundwater mineralization in irrigation areas]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydrotechnics and Land Reclamation], pp. 50-58. (In Russian).
7. Engulatov I.A., 1969. *K voprosu rascheta zapasov vlagi v zone aeratsii pochvo-gruntov* [On issue of calculating the moisture reserves in the soil aeration zone]. *Trudy SANIIRI* [Proc. of SANIIRI]. Tashkent, iss. 119, pp. 41-48. (In Russian).
8. Zhernov I.E., 1972. *Prognoz rezhima podzemnykh vod na melioriruyemykh zemlyakh* [Forecast of the groundwater regime on reclaimed lands]. *Materialy mezhdromstvennogo soveshchaniya po meliorativnoy gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Proc. of the Interdepartmental Meeting on Reclamation Hydrogeology and Engineering Geology]. Minsk, iss. 4, pp. 25-32. (In Russian).
9. Khodzhibaev N.N., Samoylenko V.G., 1976. *Gidrogeologo-meliorativnye prognozy* [Hydrogeological and Reclamation Forecasts]. Tashkent, Fan Publ., 358 p. (In Russian).
10. Shchebeko V.F., Zakrzhevsky P.I., Bragilevsky Z.A., 1980. *Gidrogeologicheskie*

raschety pri proektirovanii osushitel'nykh i osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistem [Hydrogeological Calculations in the Design of Drainage and Drainage-Wetting Systems]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 312 p. (In Russian).

Информация об авторах

Р. К. Икрамов – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;

С. М. Гаппаров – старший научный сотрудник, доктор философии (PhD) по техническим наукам;

З. Т. Джумаев – старший научный сотрудник, доктор философии (PhD) по техническим наукам;

А. А. Утаев – старший научный сотрудник, доктор философии (PhD) по техническим наукам.

Information about the authors

R. K. Ikramov – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;

S. M. Gapparov – Senior Researcher, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences;

Z. T. Djumaev – Senior Researcher, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences;

A. A. Utaev – Senior Researcher, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.02.2023; одобрена после рецензирования 01.03.2023; принята к публикации 22.03.2023.

The article was submitted 06.02.2023; approved after reviewing 01.03.2023; accepted for publication 22.03.2023.