

3. DRI (Drainage Research Institute) (1995). Re-use of drainage water in the Nile Delta: monitoring, modeling and analysis. Re-use Report No. 50. Cairo, Egypt: DRI.
4. E.C. (2007): European Commission: FOOD SAFETY and INSURANCE (http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/oldcomm7/out07_en.html) for ensuring food safety.
5. Freitag DG (2002). The use of effective microorganism (EM) in organic waste management, Sustainable Community Development, Colu

E-mail: volgau@volgau.com

УДК 504.062.2:631.67:626.810(0.75.8)

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА
ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД ДЛЯ УСЛОВИЙ КАЛМЫКИИ**
**IRRIGATION WATER QUALITY NORMALIZATION ECOLOGICAL SYSTEM
IN CONDITIONS OF KALMYKIA**

А.С. Овчинников¹, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

И.Г. Плешакова¹

В.В. Бородычев², член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Э.Б. Дедова², доктор сельскохозяйственных наук

М.А. Сазанов²

A.S. Ovchinnikov, I.G. Pleshakova, V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (Волгоградский филиал)

¹Volgograd State Agrarian University

²Volgograd branch of All-Russia scientific-research institute of hydraulic engineering
and land-improvement named after A.N. Kostyakov

Представлено нормирование качественных показателей воды, используемой для орошения, с учетом: потребностей во влаге вида возделываемой сельскохозяйственной культуры; особенностей природно-ландшафтной зоны; применяемых способов и техники поливов; складывающихся конкретных климатических условий года, а также исходя из соблюдения требований экологической безопасности. На основе анализа и обобщения нормативных, методических, литературных и экспериментальных материалов разработана зональная система почвенно-гидрогеолого-мелиоративной оценки качества оросительных вод, включающая градации по четырем классам качества воды, в зависимости от следующих параметров: основных типов почв (тяжелых, средних, легких и песков); уровня содержания воднорастворимых солей в слое почвы 0-1,0 м, степени и типа засоления, определяемых по традиционной классификации; уровня минерализации поливной воды; степени концентрации в воде определенных количеств основных ионов (HCO_3^- , Cl^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+), вызывающих развитие негативных процессов в почве – хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования; уровня водородного показателя (рН) в поливной воде, не вызывающего снижение продуктивности сельскохозяйственных культур; гидрогеологических режимов почв на орошаемых участках, не приводящих к ухудшению экологической обстановки – допустимого уровня залегания грунтовых вод, в зависимости от различной степени их минерализации (1,0-3,0, 3,0-5,0 и свыше 5,0 г/л). Выполнена классификация оценки качества воды, используемой для орошения в Калмыкии, по предложенной зональной шкале: вода на Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системе по почвенно-гидрогеолого-мелиоративным показателям относится к I классу качества, волжская вода хорошего качества (I класс); вода на Черноземельской обводнительно-оросительной системе (реки Терек и Кума) оценивается по II-III классу из-за повышенной минерализации и опасности развития негативных процессов в почвах. Вода местного па-

водкового стока (малые реки и балки) хорошего качества (I класс). В то же время этот сток, аккумулярованный в водоемах и водохранилищах, в различные годы относился к II-IV классу по опасности засоления и осолонцевания. Морские воды Каспия также пригодны для орошения (III класс).

The article presents the regulation of water quality indicators used for irrigation, taking into account: the needs of the cultivated crop moisture type; natural landscape zone features; used methods and irrigation techniques; forming specific climatic conditions, as well as on the basis of compliance with environmental safety requirements. Based on the analysis and synthesis of the regulatory, methodological, literary and experimental materials the zonal system of soil-hydrogeological-reclamation assessment of the irrigation water quality was developed, including a gradation in the four classes of water quality, depending on the following parameters: the main soil types (heavy, medium, light and sands); the level of water-soluble salts in the soil layer 0-1.0 m, the degree and type of salinity, defined according to the traditional classification; the level of irrigation water mineralization; the degree of concentration in the water of basic ions certain quantities (HCO_3^- , Cl_2^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+), causing the development of negative processes in the soil - chloride salinity, sodium and magnesium alkalinity, soda formation; level of hydrogen value (pH) in irrigation water without causing the decline in productivity of agricultural crops; hydrogeological conditions of soils in irrigated areas do not lead to a deterioration of environmental conditions - an acceptable level of groundwater, depending on the different degrees of mineralization (1.0-3.0, 3.0-5.0, and more than 5.0 g / l). The classification assessment of water quality used for irrigation in Kalmykia was made on the proposed zonal scale: water on the right-Egorlykskaya watering irrigation system for soil-hydrogeological-reclamation indicators related to quality class I, Volga water of good quality (I class); water on Chernozemelsky watering irrigation system (the rivers Terek and Kuma) is measured at the II-III class due to the increased mineralization and the danger of negative processes development in soils. Water of a local flood flow (small rivers and gullies) is of good quality (I class). At the same time, the stock accumulated in ponds and reservoirs in different years refers to the II-IV class of salinity and alkalinity hazard. Caspian Sea water is also suitable for irrigation (III class).

Ключевые слова: водные ресурсы, поверхностные воды, подземные воды, качество, химический состав, гидрогеологический режим почв, шкала, орошение, экология.

Key words: water resource, surface water, ground water, quality, chemical composition, hydrological regime of soils, scale, irrigation, ecology.

Введение. Республика Калмыкия расположена на юго-востоке Европейской части Российской Федерации. Большая часть (80 %) её территории размещается в крайне аридных и сильно аридных территориях с коэффициентами аридности 0,11-0,30, где ощутима большая потребность в водных ресурсах на социально-бытовые и промышленные нужды и, главным образом, на развитие мелиорации земель, обводнение пастбищ и орошаемое земледелие. В силу того, что почвенно-мелиоративные и инженерно-гидрогеологические условия в большинстве районов Калмыкии характеризуются повышенной сложностью и склонностью к проявлению ряда негативных явлений в процессе орошения (засоление, осолонцевание, подщелачивание и др.), то к качеству оросительных вод должны предъявляться довольно жесткие требования [1, 8, 11]. К категории оросительных вод относится та часть водных ресурсов, которая непосредственно используется для удовлетворения потребности во влаге биоценозов - естественной растительности, сельскохозяйственных культур и древесно-кустарниковых пород [2, 3].

Поливная вода является одним из определяющих факторов мелиоративного состояния орошаемых земель и биологической продуктивности растений. Влияние оросительной воды на эффективное плодородие почв и основные показатели их мелиоративного состояния, помимо ее количества (режима орошения), сказывается через минерализацию (количество солей в поливной воде) и гидрохимический состав (химизм мине-

рализации). Общее содержание солей в поливной воде оказывает влияние на солевой режим активного слоя почв, а также на целый ряд физиологических процессов на стыке системы: почвенный раствор – корни растений. Гидрохимический состав обычно оказывает влияние на целый ряд химических и физико-химических процессов: натриевое и магниевое осолонцевание, хлоридное, содовое и общее засоление, реакция среды, трансформация и миграция гумусовых веществ и ряд других.

Влияние оросительной воды на почвы и растения зависит от многих составляющих как природного, так и антропогенного характера: состав, свойства и режимы почв; режим грунтовых вод; гидрохимический режим зоны аэрации; физиологические особенности растений; технология их возделывания, включая и режим орошения; мелиоративные мероприятия и другие. Поэтому нормативные показатели оценки качества поливных вод, как правило, носят явно зональный характер, т.е. они должны разрабатываться для конкретных почвенно-мелиоративных и гидрогеологических условий не только почвенно-географических зон, но и более мелких таксономических единиц как почвенно-географического, так и природно-сельскохозяйственного районирования (округа, районы, подрайоны) и с обязательным учетом особенностей их ирригационно-хозяйственного использования. В административно-хозяйственном отношении это могут быть отдельные системы, хозяйства (землепользователи) и даже участки.

Поэтому оценка качества оросительной воды до сих пор остается одной из актуальных проблем, так как многие научно-методические и прикладные вопросы еще остаются нерешенными. В частности, слабо разработаны методические подходы по экологическим требованиям в привязке к зональным и локальным условиям; дискуссионны лимитирующие значения показателей, характеризующих состав и минерализацию воды, в зависимости от вещественного состава; не разработаны зональные диагностические количественные и качественные воды, применительно к сферам ее использования.

К настоящему времени разработаны различные классификации и оценочные шкалы оросительных вод, используемые в практической работе или рекомендуемые к внедрению [2, 3, 10, 11]. Главными критериями оценки качества поливных вод в них приняты следующие: минерализация, кислотнo-щелочная реакция, показатели хлоридного и содового засоления, натриевого и магниевого осолонцевания. Так как от этих показателей зависят химические, физикохимические, агрофизические свойства орошаемых почв, а значит и уровень плодородия, то они дополняются данными о снижении урожайности сельскохозяйственных культур с различной степенью соле- и солонцеустойчивости.

Материалы и методы. Объектом исследований служили качественные характеристики водных ресурсов на территории Республики Калмыкия – поверхностные (местный сток, водоемы, каналы оросительно-обводнительных систем), подземные воды и воды прибрежной полосы Каспийского моря. Химический состав вод по содержанию 6 основных ионов – анионов (HCO_3^- , Cl^{2+} , SO_4^{2-}) и катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+), общее содержание воднорастворимых солей и водородный показатель (рН) определялись традиционными методами [5,10,13,16]. В соответствии с современной классификацией по содержанию плотного остатка солей [14], природные воды разделяются на: пресные (до 1,0 г/л), слабосоленоватые (1,0-3,0 г/л), умеренно солончатые (3,0-10,0 г/л), слабосоленые (10,0-30,0 г/л), сильносоленые (30,0-50,0 г/л) и рассолы (более 50,0 г/л). При разработке зональной оценки качества поливных вод модернизации подвергались общепринятые в России классификации. Нормирование количества воды, используемой для орошения, производилось на основе принципов экосистемного водопользования [2, 3], с учетом: потребностей во влаге вида возделываемой сельскохозяйственной культуры; особенностей природно-ландшафтной

зоны; применяемых способов и техники поливов; складывающихся конкретных климатических условий года, а также исходя из соблюдения требований экологической безопасности.

Результаты и обсуждение. На территории Калмыкии, в зависимости от используемых способов и техники полива, регулирование норм орошения сельскохозяйственных культур осуществляется в следующих пределах: при периодических поливах дождеванием поливные нормы варьируют от 250 до 900 м³/га, а оросительные нормы – в пределах 1,5-9,0 тыс. м³/га; при поливах риса с режимами укороченного и прерывистого затопления оросительная норма составляет, соответственно, 18,0-22,0 и 13,0-17,0 тыс. м³/га, а при периодических поливах напуском по бороздам с кротованием - 12,0-14,0 тыс. м³/га; при капельном орошении поливные нормы находятся на уровне 20-250 м³/га, а оросительные – 2,0-4,0 тыс. м³/га; при затоплении лиманов оросительные нормы составляют 2,5-5,0 тыс. м³/га.

Нами предложена модернизированная градация оросительных вод по уровню минерализации и соответствующими общими экологическими классами их качества (таблица 1).

Таблица 1 – Зональная шкала классификации поливных вод на территории Калмыкии по уровню общей минерализации (г/л) и качеству

Классификационная группа	Степень минерализации, г/л	Общий экологический класс
Сверхпресные	<0,2	Неопасные
Пресные	0,2-1,0	Неопасные
Слабосоленоватые	1,0-3,0	Слабо опасные
Среднесолоноватые	3,0-5,0	Умеренно опасные
Сильносолоноватые	5,0-10,0	Опасные
Солёные	>10,0	Сильно опасные

Данная шкала позволяет дать самую общую качественную характеристику вод, которая затем дополняется конкретным типом химизма. Она основана на многолетнем опыте, показывающем пригодность для орошения различных сельскохозяйственных культур воды с минерализацией до 13,0 г/л [2, 3, 8].

Для общей классификации химического состава воды, которая может применяться в АПК, предлагается использовать модернизированную шкалу (таблица 2), согласно которой, по содержанию в воде анионов и катионов можно выделить по 15 групп (типов):

- по анионному составу: (гидрокарбонатные, хлоридные, сульфатные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатно-карбонатные, хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные, гидрокарбонатно-сульфатные, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные);

- по катионному составу: (натриевые, кальциевые, магниевые, натриево-кальциевые, натриево-магниевые, кальциево-натриевые, магниево-натриевые, кальциево-магниевые, магниево-кальциевые, натриево-магниево-кальциевые, магниево-натриево-кальциевые, натриево-кальциево-магниевые, кальциево-натриево-магниевые, кальциево-магниево-натриевые, магниево-кальциево-натриевые).

В соответствии с общепринятой методологией [5, 16], в данной классификации суммы миллиграмм-эквивалентов анионов и катионов принимаются каждая за 100. В первую очередь, при оценке участвуют лишь те элементы, процентное содержание которых составляет не менее 25 %. Они являются определяющими ионами. При величине определяющего иона ниже 25 %, для определения типа химизма производится сравнение между собой уровней содержания отдельных ионов. Характеристика химического состава воды начинается с указания ее группы по анионному составу, а затем – по катионам.

Таблица 2 – Классификация химического состава вод по содержанию в них основных анионов и катионов, % мг-экв.

Наименование по анионному составу			Наименование по катионному составу					
Типы вод	Определяющий анион	Содержание определяющего аниона	Особые условия	Типы вод	Определяющий катион	Содержание определяющего катиона	Содержание прочих катионов	Особые условия
Гидрокарбонатные	HCO_3^-	>75	нет	Натриевые	Na^+	>75	<25	нет
Хлоридные	Cl^-	>75	нет	Кальциевые	Ca^{2+}	>75	<25	нет
Сульфатные	SO_4^{2-}	>75	нет	Магниевого	Mg^{2+}	>75	<25	нет
Хлоридно-гидрокарбонатные	SO_4^{2-}	<25	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	Натриево-кальциевые	Mg^{2+}	<25	>75	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$
Сульфатно-гидрокарбонатные	Cl^-	<25	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Натриево-магниевого	Ca^{2+}	<25	>75	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$
Хлоридно-сульфатные	HCO_3^-	<25	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	Кальциевонариевые	Mg^{2+}	<25	>75	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$
Сульфатно-хлоридные	HCO_3^-	<25	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Магниево-натриевые	Ca^{2+}	<25	>75	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
Гидрокарбонатно-хлоридные	SO_4^{2-}	<25	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Кальциевомангневые	Na^+	<25	>75	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$
Гидрокарбонатно-сульфатные	Cl^-	<25	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	Магниевокальциевые	Na^+	<25	>75	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
Хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные	Cl^-	>25	SO_4^{2-} и $\text{HCO}_3^- > 25$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Натриево-магниевокальциевые	Na^+	>25	>50	Mg^{2+} и $\text{Ca}^{2+} > 25$ $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные	SO_4^{2-}	>25	Cl^- и $\text{HCO}_3^- > 25$ $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	Магниево-натриевокальциевые	Mg^{2+}	>25	>50	Na^+ и $\text{Ca}^{2+} > 25$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$
Гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные	HCO_3^-	>25	Cl^- и $\text{SO}_4^{2-} > 25$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	Натриево-кальциевомангневые	Na^+	>25	>50	Mg^{2+} и $\text{Ca}^{2+} > 25$ $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$
Гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные	HCO_3^-	>25	SO_4^{2-} и $\text{Cl}^- > 25$ $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Кальциевонариевомангневые	Ca^{2+}	>25	>50	Na^+ и $\text{Mg}^{2+} > 25$ $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$
Хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатные	Cl^-	>25	SO_4^{2-} и $\text{HCO}_3^- > 25$ $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	Кальциевонариевые	Ca^{2+}	>25	>50	Mg^{2+} и $\text{Na}^+ > 25$ $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
Сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные	SO_4^{2-}	>25	HCO_3^- и $\text{Cl}^- > 25$ $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Магниевокальциевонариевые	Mg^{2+}	>25	>50	Ca^{2+} и $\text{Na}^+ > 25$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$

Таким образом, предлагаемая шкала представляет наиболее полно и достоверно устанавливать химический состав воды по преобладающим ионам в порядке убывания их количества. Используя конкретные данные о химическом составе поверхностных вод на территории Калмыкии, получены соответствующие их характеристики в применении для нужд орошения (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика поверхностных вод Калмыкии по степени минерализации, химическому составу и уровню pH

Водоисточник	Наименование обводнительно-оросительных систем	Место отбора	Характеристика вод по химическому составу и pH	
Местный сток		реки и балки	сверхпресные, Cl-HCO ₃ , Ca—Mg-,Na, нейтральные пресные, SO ₄ , Mg-Na, нейтральные	
		водохранилища	слабосоленоватые, Cl- SO ₄ , Na, нейтральные сильносоленоватые, Cl- SO ₄ , Na, щелочные	
р. Волга	Сарпинская ООС	оросительные каналы	сверхпресные, SO ₄ , Ca, щелочные пресные, SO ₄ , Ca, щелочные	
		дренажно-сбросные каналы	пресные, Cl, Ca, щелочные сильносоленоватые, SO ₄ , Na, щелочные	
	Калмыцко-Астраханская ООС	оросительные каналы	пресные, Cl- SO ₄ - HCO ₃ , Ca-,Na, щелочные слабосоленоватые, SO ₄ , Na, щелочные	
			Каспийская ООС	оросительные каналы
	р. Терек, р. Кума	Черноземель-ская ООС		
			дренажно-сбросные каналы	слабосолонцеватые, SO ₄ , Mg, щелочные слабосоленоватые, Cl- SO ₄ , Na, щелочные
р. Кубань	Право-Егорлыкская ООС	оросительные каналы	пресные, HCO ₃ , Ca, нейтральные пресные, SO ₄ , Mg- Ca, нейтральные	
		дренажно-сбросные каналы	слабосоленоватые, HCO ₃ -SO ₄ , Na -Ca, нейтральные слабосоленоватые, SO ₄ , Na -Mg, нейтральные	
Морские воды	Каспийская ООС	оросительные каналы	пресные, Cl-HCO ₃ -SO ₄ , Na -Ca-Mg, нейтральные слабосоленоватые, Cl- SO ₄ -HCO ₃ , Na, нейтральные	
Смешанные воды	Сарпинская ООС	оз. Сарпа	сильносоленоватые, Cl, Mg, Na слабощелочные соленые, Cl, Na, слабощелочные	
	Право-Егорлыкская ООС	оз. Маныч-Гудило	соленые, Cl, Na, щелочные рассолы, Cl, Na сильнощелочные	
			пруды	слабосоленоватые, SO ₄ , Na, Mg, слабощелочные соленые, SO ₄ , Na, щелочные
	Каспийская ООС	водохранилища		пресные, SO ₄ – Cl, Na- Ca, слабощелочные

В основу нового подхода к нормированию качества воды, используемой для орошения заложены принципы, предложенные С.Я. Бездновой [2, 3]: принцип зависимости плодородия почв, водопотребления, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции от свойств воды, химического состава, соотношения ионов, содержания загрязняющих веществ в оросительной воде; принцип зависимости сохранности, долговечности материалов и надежности функционирования сооружений оросительных систем от химического состава, свойств оросительной воды, содержания взвешенных частиц; принцип регионального подхода, учитывающий особенности климата, дренированности территории, глубину залегания и химический состав подземных вод, состав и свойства почв, технологию орошения, возделываемые агрофитоценозы; принцип лимитирующего признака вредности, согласно которому, устанавливаются предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в почве; принцип направленного формирования химического состава и свойств оросительной воды с целью оптимизации основных показателей мелиоративного режима почв и обеспечения почв и сельскохозяйственных культур необходимыми микроэлементами и условиями.

На основании сравнения и обобщения, имеющихся теоретических, методических и нормативных материалов [2, 3, 10, 11], а также сведений о состоянии водных ресурсов Калмыкии [4, 6-8, 12, 15] нами разработана зональная шкала почвенно-гидрогеолого-мелиоративной оценки качества оросительной воды, включающая: оценку по степени опасности общего засоления; опасности развития в почве процессов хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования; оценку щелочности и по гидрогеологическим условиям (таблица 4).

В ней выделены 4 класса качества воды (неопасный, малоопасный, умеренно опасный и опасный) для основных типов почв тяжёлого, среднего и лёгкого гранулометрического состава, имеющихся на территории республики - чернозёмов, темно-каштановых, луговых, лиманных, светло-каштановых, бурых полупустынных и др., а также открытых песков. Учитываются уровень общей минерализации оросительной воды; концентрация определённых ионов, вызывающих опасность развития негативных процессов в почвах (хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования); водородный показатель (рН) и допустимые глубины залегания грунтовых вод с учётом степени их минерализации.

Данная шкала позволяет производить качественную оценку поливных вод по вышеуказанным показателям, с учётом уровня засоления почв. При определении обобщающего уровня качества поливной воды, ее класс устанавливается по наилучшему из контролируемых показателей. Этим преследуется цель выделения тех негативных процессов, которые могут возникнуть в агромелиоративном ландшафте при орошении водой конкретного химического состава, и возможности оперативной выработки комплекса мероприятий по обеспечению экологической устойчивости. Результаты почвенно-мелиоративной оценки вод по степени их пригодности в целях орошения свидетельствуют о том, что местный паводковый сток при его минерализации до 0,43 г/л по всем параметрам относится к I классу, за исключением повышенного содержания в нем ионов Na^+ и Mg^{2+} , которые могут вызывать негативные процессы натриевого и магниевого осолонцевания (III и IV класс оценки). Местный сток, аккумулирующийся в водохранилищах, значительно ухудшает все свои показания и уже относится к IV классу по качеству.

Таблица 4 – Шкала почвенно-гидрогеолого-мелиоративной оценки качества поливных вод применительно к условиям Калмыкии

Класс качества воды	Типы (подтипы) почв и их классы	Уровень содержания солей в слое почвы 0-10 м, %	Уровень содержания солей в воде, %	Концентрация ионов в воде (мг-экв./л), вызывающая опасность развития негативных процессов в почвах				Уровень водородного показателя в воде (рН)	Уровень залегания грунтовых вод (м), в зависимости от их минерализации (г/л)		
				Хлоридное засоление (Cl ⁻)	Натриевое осолонцевание (Na ⁺ /Ca ²⁺)	Магниевое осолонцевание (Mg ²⁺ /Ca ²⁺)	Сообразование [(CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻)(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)]		1...3	3...5	>5
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12
I (неопасный)	Почвы глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава (чернозёмы, тёмно-каштановые, каштановые, светло-каштановые, луговые и др.) с ППК >30 мг-экв./100 г	<0,05	0,2...1,0	<2,0	0,1...0,3	0,5...1,0	0,5...0,8	7,2...7,5	>2,5	>3,0	>3,5
	Почвы средне- и лёгко суглинистые (каштановые, светло-каштановые, бурые полупустынные, луговые и др.) с ППК 15-30 мг-экв./100 г	<0,10	1,0...1,2	<2,5	0,3...0,5	0,8...1,2	7,4...7,6	>2,2	>2,2	>2,7	>3,3
I	Почвы супесчаные и песчаные (бурые полупустынные, луговато-бурые и др.) с ППК 10-15 мг-экв./100 г	<0,30	1,2...1,5	<3,0	0,5...1,0	<1,4	<1,1	7,6...7,8	>2,0	>2,5	>3,0
	Открытые пески с ППК < 10 мг-экв./100 г	<0,50	2,5...6,0	<3,5	<1,2	<1,5	<1,2	7,6...7,8	>1,8	>2,2	>2,7

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
II	Почвы тяжёлые (малоплодныя)	0,1...0,3	1,0...1,2	2,0...2,5	0,3...0,8	1,0...1,2	0,8...1,2	7,5...7,8	2,2...2,5	2,7...3,0	3,2...3,5
		0,2...0,5	1,2...1,5	2,5...3,0	0,5...1,0	1,2...1,4	1,0...1,4	7,4...7,9	2,0...2,2	2,5...2,7	3,0...3,3
		0,3...0,8	2,5...4,0	3,0...4,5	1,0...1,3	1,4...2,0	1,1...1,8	7,7...8,0	1,8...2,0	2,2...2,5	2,7...3,0
		>1,0	6,0...9,0	3,5...5,0	1,2...1,5	1,5...2,2	1,2...2,0	7,8...8,3	1,5...1,8	2,0...2,2	2,5...2,7
III	Почвы тяжёлые (умеренно опасныя)	0,2...0,4	1,0...1,3	2,3...3,0	0,8...1,2	1,2...1,6	1,2...1,6	7,8...8,0	2,0...2,2	2,5...2,7	3,0...3,2
		0,3...0,7	1,5...2,0	3,0...4,5	1,0...1,5	1,4...1,8	1,4...1,8	8,0...8,3	1,8...2,0	2,2...2,5	2,7...3,0
		0,5...0,9	4,0...8,0	4,5...8,0	1,3...1,8	2,0...2,2	2,0...2,2	8,1...8,6	1,5...1,8	2,0...2,2	2,5...2,7
		>1,2	9,0...13,0	8,0...10,0	1,5...2,0	2,2...2,5	2,2...2,5	8,3...8,8	1,2...1,5	1,8...2,0	2,2...2,5
IV	Почвы тяжёлые (опасныя)	>0,3...0,5	>1,3	>3,0	>1,2	>1,6	>1,6	>8,0	<2,0	<2,5	<3,0
		>0,5...0,9	>2,0	>4,5	>1,5	>1,8	>1,8	>8,3	<1,8	<2,2	<2,7
		>0,6...1,2	>8,0	>8,0	>1,8	>2,2	>2,2	>8,6	≤1,5	<2,0	<2,5
		>1,5	>13,0	>10,0	>2,0	>2,5	>2,5	>8,8	<1,2	<1,8	<2,2

Таблица 5 – Почвенно-мелиоративная оценка качества поверхностных вод на территории Калмыкия, возможных к применению для полива

Водосточник	Место отбора	Гранулометрический состав почвы	Минерализация поливной воды	Оценка степени опасности негативных процессов в почвах (класс качества)				Класс качества по уровню рН	Общий класс качества воды
				хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования		
Сарпинская обводнительно-оросительная система									
р. Волга	оросительные каналы	тяжелый	0,144	0,2 (I)	0,5 (I-II)	0,5 (I)	-0,2 (I)	II	I
		средний	0,144	(I)	(I-II)	(I)	(I)	II	I
	дренажно-сбросные каналы	тяжелый	0,624	1,6 (I)	0,85 (II)	0,5 (I)	-5,2 (I)	II	I-II
		средний	0,624	(I)	(II)	(I)	(I)	II	I-II
		тяжелый	0,596	4,8 (IV)	0,23 (I)	0,46 (I)	-4,55 (I)	II	IV
		средний	0,596	(IV)	(I)	(I)	(I)	II	IV
р. Терек, р. Кума	оросительные каналы	тяжелый	5,541	23,2 (IV)	2,26 (IV)	0,85 (I)	-30,4 (I)	II	IV
		средний	5,541	(IV)	(IV)	(I)	(I)	II	IV
Черноземельская обводнительно-оросительная система									
р. Терек, р. Кума	оросительные каналы	тяжелый	1,126	6,8 (IV)	1,53 (IV)	1,39 (III)	-7,75 (I)	II	IV
		средний	1,126	(IV)	(IV)	(II)	(I)	II	IV
		легкий	1,126	(III)	(III)	(I)	(I)	II	III
		тяжелый	1,642	8,4 (IV)	3,29 (IV)	1,33 (III)	-8,4 (I)	II	IV
	дренажно-сбросные каналы	средний	1,642	(II)	(IV)	(I)	(I)	II	IV
		легкий	1,642	(IV)	(IV)	(I)	(I)	II	IV
		тяжелый	1,183	7,2 (IV)	1,13 (III)	1,33 (III)	-11,2 (I)	III	IV
		средний	1,183	(IV)	(III)	(II)	(I)	III	III
		легкий	1,183	(III)	(II)	(I)	(I)	III	III
		тяжелый	1,752	12,2 (IV)	1,86 (IV)	1,07 (II)	-10,2 (I)	II	IV
р. Терек, р. Кума	оросительные каналы	средний	1,752	(IV)	(IV)	(I)	(I)	II	IV
		легкий	1,752	(IV)	(IV)	(I)	(I)	II	IV

Воды из бассейна р. Волга, поступающие по каналам Сарпинской, Калмыцко-Астраханской и Каспийской ООС, имеют в основном хорошее качество (I класс), но дренажно-сбросной сток с оросительных систем имеет III и IV класс качества по опасности хлоридного засоления и осолонцевания. Воды из бассейна рек Терек и Кубань (Черноземельская ООС) имеют повышенную минерализацию и избыточное содержание ионов Cl^- , Mg^{2+} и Na^+ , что позволяет относить их к III и IV классам качества. Морские воды северо-западной части Каспия, опресненные стоком р. Волга, пригодны для полива (I класс). Смешанные воды водохранилищ на Каспийской ООС, пополняемые оросительными и морскими водами, отнесены ко II классу качества, из-за повышенного содержания ионов Cl^- и Na^+ . Вода из бассейна р. Кубань (Право-Егорлыкская обводнительно-оросительная система) по почвенно-гидрогеолого-мелиоративным показателям относится к I классу качества. Смешанные воды на Право-Егорлыкской ООС, формируемые за счет местного поверхностного стока и сбросов с оросительных систем, характеризуются IV классом оценки, из-за высокой минерализации и плохого химического состава. Смешанные воды двух больших водоемов (озеро Сарпа и Маныч-Гудило), питающиеся за счет сбросных вод ООС и местного поверхностного стока, малоприспособны или совсем непригодны для целей орошения (IV класс), из-за высокой минерализации и плохого химического состава.

В качестве примера приведена расширенная почвенно-мелиоративная оценка качества воды на Сарпинской и Черноземельской обводнительно-оросительных системах, используемой для полива сельскохозяйственных культур на почвах различного гранулометрического состава (таблица 5).

Заключение. Предлагаемая зональная шкала эколого-мелиоративной оценки качества поливных вод, разработанная применительно к условиям Калмыкии, позволяет определить степень их минерализации и химического состава по макрокомпонентам (ионам HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) в количественном соотношении и активную реакцию (рН), а затем осуществить оценку степени пригодности поливной воды для обеспечения экологической безопасности агроландшафта и высокой продуктивности при возделывании конкретного вида сельскохозяйственных культур в реально сложившейся почвенно-гидрогеолого-мелиоративной обстановке.

Библиографический список

1. Бакинова, Т.И. Почвы Республики Калмыкия [Текст] /Т.И. Бакинова, Н.П. Воробьева, Е.А. Зеленская. – Элиста: Изд-во СКНЦ ВШ, 1999. – 115 с.
2. Безднина, С.Я. Экологические основы водопользования [Текст] /С.Я. Безднина. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.
3. Безднина, С.Я. Научные основы оценки качества воды для орошения [Текст] : монография /С.Я. Безднина. – Рязань: Изд. РГАТУ, 2013. – 171 с.
4. Бородычев, В.В. Водные ресурсы Республики Калмыкия и мероприятия по совершенствованию водохозяйственного комплекса [Текст] / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов // Доклады РАСХН. – 2015. – № 4. – С. 41-45.
5. Гидрохимия [Текст] / А.М. Никаноров, Е.В. Посохов. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 232 с.
6. Дедова, Э.Б. Характеристика водных ресурсов Республики Калмыкия и пути их рационального использования для нужд агропромышленного комплекса [Текст] / Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, С.И. Ковриго// Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: мат. Межд. науч. конф. / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – Вып. 6. – С. 256-260.
7. Дедова, Э.Б. Сравнительная характеристика оценки качества поливных вод Калмыкии / Э.Б. Дедова // III съезд Докучаевского общества почвоведов. –Суздаль, 2000. – С. 215-216.

8. Ковда, В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв [Текст] / В.А. Ковда. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
9. Комплексное использование водных ресурсов Республики Калмыкия [Текст]: монография / Под. общ. ред. О.В. Демкина, сост. и ред. С.Б. Адъяева, Э.Б. Дедовой, М.А. Сазанова. – Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар», 2006. – 200 с.
10. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение [Текст] : Справочник / Под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
11. Методическое руководство по методам контроля и критериям оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Поволжья [Текст]. – Саратов: ВолжНИИГиМ, 1991. – 35 с.
12. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе [Текст] / А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – №3 (29). – С. 9-19.
13. Практикум по почвоведению [Текст] / Под ред. И.С. Кауричева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 336 с.
14. Рудницкая, Н.В. Минерализация природных вод [Текст] / Мелиоративная энциклопедия / Н.В. Рудницкая. – М.: ФГНУ “Мелиоводинформ”, 2004. – Том II (К-П) – С. 176.
15. Сазанов, М.А. Принципы зональной системы оценки качества поливных вод для условий Калмыкии [Текст] / М.А. Сазанов, Э.Б. Дедова, В.В. Очиров // Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: материалы Международной научной практической конференции, посвященной 90-летию создания ВНИИГиМ. – М., Изд. ВНИИА, 2014. – С. 402-406.
16. Справочное руководство гидрогеолога [Текст] / Под ред. проф. В.М. Максимова. – Л.: Недра, 1979. – Т. 1. – 512 с.

Reference

1. Bakinova, T.I. Pochvy Respubliki Kalmykija [Tekst] /T.I. Bakinova, N.P. Vorob'eva, E.A. Zelenskaja. – Jelista: Izd-vo SKNC VSh, 1999. – 115 p.
2. Bezdina, S.Ja. Jekologicheskie osnovy vodopol'zovanija [Tekst] /S.Ja. Bezdina. – M.: VNIIA, 2005. – 224 p.
3. Bezdina, S.Ja. Nauchnye osnovy ocenki kachestva vody dlja oroshenija [Tekst]: monografija /S.Ja. Bezdina. – Rjazan': Izd. RGA-TU, 2013. – 171 p.
4. Borodychev, V.V. Vodnye resursy Respubliki Kalmykija i meroprijatija po sovershenstvovaniju vodohozjajstvennogo kompleksa [Tekst] / V.V. Borodychev, Je.B. Dedova, M.A. Sazanov // Doklady RASHN. – 2015. - № 4 – P. 41-45.
5. Gidrohimiya [Tekst] / A.M. Nikanorov, E.V. Posohov – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 232 p.
6. Dedova, Je.B. Harakteristika vodnyh resursov Respubliki Kalmykija i puti ih racional'nogo ispol'zovanija dlja nuzhd agropromyshlennogo kompleksa [Tekst] / Je.B. Dedova, M.A. Sazanov, S.I. Kovrigo// Mat. mezhd. nauch. konf «Jekologicheskoe sostojanie prirodnoj sredy i nauchno-prakticheskie aspekty sovremennyh meliorativnyh tehnologij». Issue 6 / Pod obshh. red. Ju.A. Mazhajnskogo. – Rjazan': FGBOU VPO RGATU, 2014 - P. 256-260.
7. Dedova, Je.B. Sravnitel'naja harakteristika ocenki kachestva polivnyh vod Kalmykii / Je.B. Dedova // III sjezd Dokuchaevskogo ob-shhestva pochvedov, Suzdal', 2000, P. 215-216.
8. Kovda, V.A. Problemy bor'by s opustynivaniem i zasoleniem oroshaemyh pochv [Tekst] /V.A. Kovda - M.: Kolos.- 1984. – 304 p.
9. Kompleksnoe ispol'zovanie vodnyh resursov Respubliki Kalmykija: Monografija [Tekst] / Pod. obshh. red. O.V. Demkina, sost. i red. S.B. Ad'jaeva, Je.B. Dedovoj, M.A. Sazanova - Jelista: ЗАОр «НПП «Dzhangar», 2006. - 200 p.
10. Melioracija i vodnoe hozjajstvo. Oroshenie: Spravochnik [Tekst] / Pod red. B.B. Shumakova. – M.: Kolos, 1999. – 432 p.
11. Metodicheskoe rukovodstvo po metodam kontrolja i kriterijam ocenki meliorativnogo sostojanija oroshaemyh zemel' Povolzh'ja [Tekst]. – Saratov: VolzhNIIGiM, 1991. – 35 p.

12. Monitoring vodnyh resursov Respubliki Kalmykija i problemy jekosistemnogo vodopol'zovanija v agro-promyshlennom komplekse [Tekst] / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, Je.B. Dedova, M.A. Sazanov // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouni-versitetskogo kompleksa. – Volgograd, 2015. №3 (29) – P. 9-19.

13. Praktikum po pochvovedeniju [Tekst] /Pod red. I.S. Kauricheva – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1986.- 336 p.

14. Rudnickaja, N.V. Mineralizacija prirodnyh vod [Tekst] / Meliorativnaja jenciklopedija. Tom II (K-P) – M.: FGNU “Meliovodinform”, 2004. – P. 176.

15. Sazanov, M.A. Principy zonal'noj sistemy ocenki kachestva polivnyh vod dlja uslovij Kalmykii [Tekst] / M.A. Sazanov, Je.B. Dedova, V.V. Ochirov // Kompleksnye melioracii – sredstvo povyshenija produktivnosti sel'skhozjajstvennyh zemel': Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju sozdanija VNIIGiM – M., Izd. VNIIA 2014. – P. 402-406.

16. Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa [Tekst] /Pod red. prof. V.M.Maksimova Vol.1-L.: Nedra, 1979. – 512 p.

E-mail: volgau@volgau.com

УДК 631.675:631.671.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ
ВОДНО-СОЛЕВЫМ РЕЖИМОМ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ
SIMULATION OF SOILS AQUEOUS-SALT REGIME CONTROL
AT IRRIGATION CONDITIONS**

В.В. Бородычев, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Э.Б. Дедова, доктор сельскохозяйственных наук
М.А. Сазанов

М.Н. Лытов, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (Волгоградский филиал)

V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov, M.N. Lytov

*Volgograd branch of All-Russia scientific-research institute of hydraulic engineering
and land-improvement named after A.N. Kostyakov*

На основе проведенных исследований осуществлено теоретическое обоснование и предложена концептуальная модель, отличительными особенностями которой являются: возможность осуществления всего комплекса функций по планированию поливного режима, направленного на полное удовлетворение потребностей растений во влаге и достижение экологически безопасного уровня засоления корнеобитаемого слоя почвы и включающего разработку прогностической программы, формирования корректирующего прогноза потребности в промывных поливах на любой срок с оценкой вероятности осуществления прогноза, составление оперативно-текущих планов, анализ необходимости проведения очередного полива с использованием ретроспективной информации; возможность использования в качестве альтернативы расчётному методу с применением ретроспективной агрометеорологической информации данных непосредственных измерений в границах орошаемого участка с помощью современных автоматизированных инструментально-измерительных комплексов и их применения для адаптации расчётных моделей прогнозирования водно-солевого режима, с учетом природных особенностей региона и орошаемых агроландшафтов; повышение точности прогнозных и ретроспективных расчётов, благодаря использованию как многопараметрических моделей определения суммарного водопотребления на основе фактических метеорологических данных за истекший период, так и простых, однопараметрических моделей на базе прогнозных метеоданных, в значительной мере носящих