

А. Г. ПАУ

Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

ПРОИЗВОДСТВО РИСА НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ В БАССЕЙНЕ СЫРДАРИИ

Мақалада ТӨШ Қарауылтөбе, Қызылорда тұзды өңірлерде күріш жүйесін суару технологиясы көрсетілген. Күріш алқабында судың минералдылығының күріш ортагенезі мен күріш өнімділігіне әсері және топырақтың тұздану бойынша жер асты суларының деңгейі мен тұздану әсері қарастырылған.

Изложена технология полива риса на засоленных землях ТӨШ Караултобинский и Кызылординской рисовой системы. Изучены влияние минерализации воды на рисовом поле на ортогенез и урожайность риса, также влияние уровня и минерализации грунтовых вод на засоление почв.

In this article the technology of watering of rice on the salted lands of EIH Karaultyubinsky, Kyzylordinsky rice system. Influence of a mineralization to water on a rice field on a rice orthogenesis, productivity of rice also influence of level and a mineralization of ground waters on salinization of soils are considered.

Введение. Производство риса на орошаемых землях в бассейне р. Сырдарии (Приаралье) является традиционным направлением аграрного сектора и составляет более 200 тыс. га, из них 70 % засоленные, 30 % вышли из сельхозоборота по причине сильного вторичного засоления [1]. Если на слабозасоленных землях урожайность риса превышает 5 т/га, то на сильно засоленных землях она ниже 2 т/га, что делает его возделывание нерентабельным [2]. Эти земли деградируются и выходят из сельхозоборота.

Мнения ученых о солеустойчивости риса различны. Одни относят рис к умеренно солеустойчивым, другие – к слабоустойчивым [3–5]. Однако, говоря о солеустойчивости риса, необходимо наряду с характером и количеством солей в почве учитывать изменения концентрации почвенного раствора, реакцию среды и минерализацию слоя воды в чеках.

Постановка проблемы. Допустимое содержание солей в почвенном растворе и воде рисовых чеков зависит от качественного состава солей, сортовых признаков и возраста растений риса, почвенно-гидрологических условий. На солеустойчивость риса (такое содержание солей в почвенном растворе и воде рисовых чеков, при котором не угнетаются растения и не снижается их урожайность) влияет, в первую очередь, дренированность почв, доза вносимых минеральных и органических удобрений. Считается, что рис наименее солеустойчив в фазе прорастания–всход–кущения [2]. Повышенное содержание солей в почве и в воде снижает густоту всходов растений, продуктивную кустистость, вес зерна в метелке и урожайность риса.

В производственных условиях значительное изреживание посевов риса наблюдается при концентрации солей в почве более 2,0 %, полная гибель всходов риса – более 3,0 % по плотному остатку. Зависимость урожайности риса от степени засоления почв показана в таблице 5. При засолении почв 2,3405% по плотному остатку урожайность риса составляет 1,5 т/га, 1,857 % – 2,0 т/га, 1,567 % – 2,9 т/га (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Зависимость урожайности риса от степени засоления почв

Содержание солей в почве до посева риса, %	В том числе		Урожай риса, т/га	Содержание солей в почве после уборки риса, %
	Cl	HCO		
2,340	0,231	0,062	1,5	1,529
1,857	0,283	0,067	2,0	1,209
1,567	0,233	0,071	2,9	0,826

Вредное воздействие солей на растения проявляется в увеличении осмотического давления почвенного раствора аккумуляции ионов до опасных концентраций. Основная причина их гибели при высоких концентрациях солей – необратимые нарушения обмена веществ.

Физика негативного влияния солей на развитие растений риса заключается в том, что соли, увеличивая осмотическое давление почвенных растворов, снижают транспирацию, ингибируют ионизацию минеральных удобрений, часть из которых остается в недиссоциированном состоянии и потому оказывается недоступной растениям: клетки получают меньше воды и растворенных в ней элементов минерального питания. Ненужные для образования биомассы химические элементы, такие, как натрий, хлор, магний и другие, откладываются в вакуолях, которые, разрастаясь, уменьшают объем цитоплазмы. Кроме того, ухудшаются все агрономические ценные свойства почвы – структурность, водоудерживаемая способность, порозность аэрации, щелочность, подвижность органических соединений. Избыток натрия приводит к набуханию почвенных коллоидов, ухудшению коагуляции и другим негативным последствиям. Нами изучена технология орошения риса на засоленных землях, позволяющая обеспечить урожайность риса 4 т/га и выше.

Средства и методы решения проблемы. Научно-исследовательские работы выполнялись на сильнозасоленных землях ОПХ Караултобинский в бассейне р. Сырдарии, которые более 20 лет не использовались по причине сильного вторичного засоления. После выполнения восстановительных гидромелиоративных работ на опытном участке 20 га были проведены весенняя вспашка почвы на глубину 22–24 см, затем дискование, двукратное боронование и малование. Минеральные удобрения вносились перед посевом риса (сульфат аммония – 300 кг/га, аммофос – 100 кг/га). Затопление рисовых чеков проводилось в начале мая. В период орошения на рисовом поле создавался постоянный слой воды от посевов риса до молочно-восковой спелости зерна. Слой воды изменялся от 5 до 15 см в зависимости от фазы вегетации растения риса. Посевы риса в период полных всходов обрабатывались против сорняков гербицидом «Гуливер» дозой 25 г/га. В период кущения производилась подкормка растений риса сульфатом аммония, дозой 150 кг/га. На опытном участке велись наблюдения за водными и солевым режимом, расходом воды, ростом и развитием растений риса, урожайностью. В вегетационных сосудах-лизиметрах площадью 3000 см² изучалась критическая величина минерализации слоя воды, при которой рост и развитие растений риса ухудшаются. Установлены критические пределы минерализации слоя воды на рисовом поле: 1,8 г/л в начальные фазы вегетации – прорастания – всходов-кущения; 2,5 г/л – в последующие фазы вегетации растений риса.

Результаты и дискуссия. На сильнозасоленных землях ОПХ Караултобинский почвы тяжелого механического состава. В 0-50 см слое почв степень агрегатности по глубине снижается с 74–80 до 28–35 %, содержание гумуса – с 1,51 до 0,81 %, в составе поглощенных оснований увеличивается доля обменного магния с 14–30 до 39–57% от общей суммы.

Опытный участок характеризуется сильным засолением с высокотоксичными солями NaCl и Na₂SO₄. Содержание солей уменьшается с поверхности почвы в глубь почвогрунтового профиля – от 5,501 % сухого остатка в верхнем 0–5 см слое до 2,277 % на глубине 120–140 см (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание солей в почвах опытных участков

Глубина отбора проб почвы, см	Соли, %						
	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	Сумма солей
0-5	0,0292	0,6725	0,3005	1,1147	0,0038	3,3803	5,501
5-10	0,0252	0,7718	0,4056	0,6945	–	1,8389	3,736
10-20	0,0252	0,8228	0,2253	0,6396	–	0,8981	2,611
20-40	0,0227	0,6109	0,3912	0,8461	–	0,5701	2,441
40-60	0,0252	0,6698	0,5711	0,6738	–	0,6851	2,625
60-80	0,0267	0,6752	0,6611	1,0851	–	0,7859	3,234
60-80	0,0267	0,6752	0,6611	1,0851	–	0,7859	3,234
80-100	0,0227	0,5760	0,4658	0,9175	–	0,8010	2,783
100-120	0,0252	0,5748	0,5559	0,6967	–	0,7284	2,591
120-140	0,0252	0,5617	0,5259	0,7035	–	0,4607	2,277

При возделывания риса за счет фильтрации воды с рисовых полей и поверхностных сбросов происходит промывка засоленных почв. При исходном засолении 3,0 % солей в 0–100 см слое почв за один год возделывания риса содержание солей уменьшилось до 1,273 %, за два года – до 0,728 %, за три года – до 0,431% (таблица 2). После третье года возделывание риса земли из категории сильнозасоленных перешли в слабо и средnezасоленные. Урожайность риса в первый год возделывание риса составляет 3,27 т/га, второй год – 3,97 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Солевой режим почв и урожайность риса

№ п/п	Показатели	Годы посева риса	
		1	2
1	Содержание солей весной до посева риса в 0–100 см слое почв, %	3,000	1,470
2	Содержание солей осенью после уборки риса в 0–100 см слое почв, %	1,273	0,7416
3	Вынос солей из 0–100 см слоя почв после возделывания риса, %	1,728	0,728
4	Урожайность риса сорта Тугускен, т/га	3,27	3,97

В первый год возделывания риса фильтрационный сток с рисового поля составлял 3700 м³/га, во второй год – 3490 м³/га.

На сильнозасоленных и слабодренлируемых землях опытно-производственного участка ОПХ Караултобинский за счет конвективной диффузии солей из почвы и от грунтовых вод повышается минерализация воды на рисовом поле. При достижении критической величины минерализации воды в начальные фазы вегетации 1,8 и 2,5 г/л в последующие фазы вода с рисового поля полностью сбрасывается, и сразу поле затапливается свежей водой из оросительной сети. Количество водосмен на рисовом поле в период вегетации риса составило: в первый год посева риса – 5 раз с общим объемом 4624 м³/га; во второй год посева риса – 3 раза, объем – 3110 м³/га.

При постоянном затоплении на засоленных землях оросительная норма риса составляет 24,35 тыс. м³/га. Составляющие элементы оросительной нормы: эвапотранспирация – 10 367 м³/га, насыщение почвогрунта – 4460 м³/га, фильтрационный сток и поверхностных сброс в дренажную сеть в первый год посева риса – 8324 м³/га, второй посева риса – 6810 м³/га.

Гидромодуль первоначального затопления рисового поля составляет 5,1–6,16 л/с-га, в период поддержания слоя воды – 2,0–2,4 л/с-га.

Слой воды на рисовом поле играет многофакторную роль, он оказывает большое влияние на инфильтрацию воды и вымывание солей из почв рисового поля, является экологическим фактором, определяющим при всех прочих равных условиях, формирование и продуктивность растений риса [3–5]. С изменением минерализации слоя воды на рисовом поле изменяется оросительная норма, урожайность риса и затраты воды на тонну продукции.

Нами установлена корреляционная связь ($r = 0,983$) урожайности риса (Y) от минерализаций воды (C) на рисовом поле в период орошения:

$$Y = (2,5 + 4,9c1) - 0,5C, 2,5 > C > 1,0 \text{ г/л.} \quad (1)$$

При $C = 1$ г/л, $Y = 6,4$ т/га, $C > 2,5$ г/л, $Y = 2,75$ т/га.

Исследования показали, что минерализация воды на рисовом поле зависит от степени засоления почв, концентрации солей в поливной воде, интенсивности суммарного водопотребления с рисового поля, слоя воды и дренированности территорий, то есть от эффективности работы дренажа.

Влияние минерализации воды в рисовых чеках на онтогенез риса может быть описано аналитической зависимостью:

$$C = \frac{\chi_A}{1 + Y_A}. \quad (2)$$

Уравнение следующим образом описывает онтогенез риса: изменение условий внешней среды (концентрации солей в воде рисовых чеков χ приводит к тому, что соотношение режимов

работы, вегетативных органов A , конуса нарастания V_A и внешних условий перестает быть равным C . Растения риса стремятся восстановить утраченное соотношение, изменяют физиолого-биохимический режим регуляторного центра конуса нарастания, следствием чего является и изменение физиолого-биохимического режима вегетативных органов, что мы и наблюдаем на вариантах режима орошения риса без смены воды в период всходов растений. На рисовых чеках, где концентрация солей в воде превышает 2,0 г/л, всходы растений риса изрежены, отстают в росте, верхушки листьев желтеют, внешняя среда, к которой относится повышенная минерализация воды в рисовом чеке замедляет рост и развитие растений риса. Следовательно, для улучшения условий развития растений риса необходимо улучшить внешнюю среду, уменьшив концентрацию солей в воде и почве рисовых чеков, чего мы и добивались в вариантах постоянного затопления со сменой воды в период всходов растений риса. В этих вариантах минерализация воды в рисовых чеках не превышала 1,8 г/л, она не оказывает отрицательного влияния на рост и развитие растений, интенсифицируя одновременно процессы образования вегетативных и генеративных органов.

Из данных о состоянии растений риса в период образования вегетативных и генеративных органов можно сделать вывод, что наиболее критическим в онтогенезе риса, по отношению к минерализации воды рисовых чеков, является период прорастания–всходов–кущения, когда концентрация солей в воде рисовых чеков не должна превышать 1,8 г/л. При достижении концентрации солей в воде рисовых чеков 1,8 г/л воду из чека необходимо полностью сбросить и сразу после сброса затопить рисовый чек свежей водой из оросительного канала. В последующие фазы вегетации растений риса эту операцию необходимо проводить при достижении минерализации воды в чеках 2,5 г/л.

Интенсивность накопления солей в воде на рисовом поле и необходимость смены воды можно определить расчетным методом из балансовых уравнений, описывающих динамику изменения объема воды и интенсивности соленакопления в воде за время dt .

$$V \frac{dC_q}{dt} = C_q (V_n - V_{nt} + V_{zp}) = V_n C_n + V_{zp} C_{zp}, \quad (3)$$

где V – объем воды в чеке в момент времени t , м³/га; V_0 – начальный объем воды в чеке, м³/га; V_n , $V_{гр}$ – среднесуточные объемы воды, поступающие в чеки за время $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ через водовыпуск и от почвенных растворов грунтовых вод, м³/га; V_e , $V_{ит}$, $V_{ф}$ – среднесуточные объемы воды, расходуемые из чека за время $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ соответственно на сброс, испарение и транспирацию, инфильтрацию, м³/га; C_0 , C_n , $C_{гр}$, C_q – соответственно исходная минерализация воды в чеке, минерализация поливной, грунтовой воды и воды в рисовом чеке в момент времени t , г/л.

Уравнение (3) позволяет определить минерализацию воды на рисовом поле в любой момент времени t и необходимость смены воды при достижении ее критических значений:

$$C_q = \frac{v}{\alpha} + (C_0 - \frac{v}{\alpha}) e^{-\alpha t}, \quad (4)$$

где v – накопление солей в воде рисового чека за время $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$;

$$v = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n (V_n C_n + V_{zp} C_{zp})$$

изменение объема подачи воды в чеке за время $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$

$$\alpha = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n (V_n + V_{zp} - V_{nt}).$$

Из уравнения (4) следует, что с ростом водоподачи V_n минерализация воды на поле уменьшается и, наоборот, с уменьшением подачи воды через водовыпуск V_n и увеличением питания от грунтовых вод $V_{гр}$ минерализация воды на поле повышается. Концентрация солей в воде на рисовом поле может изменяться?

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_n C_n + V_{zp} C_{zp})}{\sum_{i=1}^n (V_n + V_{zp} - V_{nt})} \text{ при } V_n \longrightarrow 0 \text{ и } V_{\phi} + V_c \longrightarrow 0$$

до Сп при $V_{гр} \rightarrow 0$ и $V_{\phi} + V_c \rightarrow V_{п}$.

Зависимость изменения минерализации воды в рисовых чеках от минерализации поливной воды и соотношения V_{ϕ} и $V_{гр}$ для засоленных суглинистых почв показана на рисунке 1.

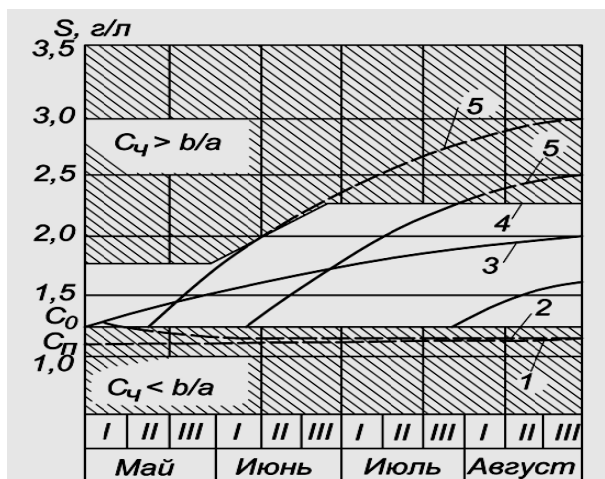


Рисунок 1 – Динамика минерализации воды на рисовом поле в оросительный период:
 1 – минерализация поливной воды;
 2, 3, 5 – минерализация воды на рисовом поле соответственно при $Q_{\phi} + Q_c = Q_{гр}$ и $C_4 < b/a$, при $Q_{\phi} > 0$ и $C_4 < b/a$, при $Q_{гр} \geq 0$ и $C_4 > b/a$;
 4 – предельно допустимая минерализация воды на рисовом поле

Из приведенных данных следует, что чем выше инфильтрация воды на рисовом поле и ниже минерализация грунтовых вод, тем меньше накапливаются соли в воде рисового поля. С уменьшением инфильтрации и увеличением напорности грунтовых вод минерализация воды на рисовом поле повышается и для ее снижения необходимо производить смену воды.

Для снижения минерализации воды на рисовом поле и предотвращения потерь урожая риса необходимо на сильнозасоленных землях воду с рисового поля периодически сбрасывать и заполнять его свежей водой. Но такие сбросы воды не должны носить стихийный характер, так как чрезмерно частые сбросы вызывают увеличение забора воды из источника орошения, переполнение коллекторно-сбросной сети и загрязнение окружающей среды.

Сбросы с рисового поля следует осуществлять в том случае, когда минерализация воды на рисовом поле превысит предельно допустимую величину (см. рисунок 1, 4). В производственных условиях минерализацию воды на рисовом поле можно определять солемером. Ежедекадно производить замеры и определять содержание солей в воде на рисовом поле

Рис и грунтовые воды – понятия не разделимые. На рисовой оросительной системе формируется бугор грунтовых вод (верховодка), уровень воды в которых в межполивной период устанавливается на отметках бытовых горизонтов воды в каналах коллекторно-сбросной и дренажной сети, а в поливной период – на посевах риса, на отметках уровня воды в рисовых чеках. Иными словами, поверхностные воды в чеках в поливной период смыкаются с грунтовыми.

В зависимости от исходного содержания солей в почвогрунтах зоны аэрации, глубины залегания и химизма коренных грунтовых вод, минерализация верховодки изменяется от 3–4 (незасоленные земли) до 15–20 г/л и более (засоленные земли).

Интенсивность процессов рассоления земель при возделывании риса и засолении во время выращивания сопутствующих культур находится в прямой зависимости от мелиорирующего действия дренажа. Непременным условием, обеспечивающим отрицательный солевой баланс почв зоны аэрации и грунтовых вод на рисовых системах, является отток грунтовых вод с рисовых массивов и свободная инфильтрация воды из рисовых чеков в объеме 40–60 м³/га сут, в период поддержания слоя воды на рисовых чеках. Возможность выращивания на засоленных землях рис и другие культуры появляется в результате инфильтрации воды и выноса солей

из пахотного слоя почв. При инфильтрации воды с затопленного рисового чека 4 мм/сут, через 10 сут содержание солей в 0–30 см слое почвы уменьшается в 2–3 раза, этим самым обеспечиваются получение всходов риса и его рост. При отсутствии инфильтрации и напорности грунтовых вод отмечается обратная зависимость между концентрацией солей в почве и густотой стояния растений.

Обсуждение результатов. Рис как мелиорирующая культура за 2–3 года возделывания обеспечивает рассоление почв, которые приобретают ценные агрономические свойства, их плодородие повышается. Наши опытно-экспериментальные исследования подтверждают сказанное.

Возникает резонный вопрос: почему в республиках Центральной Азии и Казахстане мелиорирующая роль риса «работает» не в полной мере, хотя за 40 лет эксплуатации каждый гектар пропустил через себя не менее 100 тыс. м³ воды. Эколого-гидрогеологические данные дают этому логическое объяснение.

Мелиорирующая роль риса бесспорна, но она корректна при трех условиях: 1) полив риса должен осуществляться водой с минерализацией до 1,0 г/л; 2) уровень грунтовых вод в межполивной период должен находиться на глубине, по величине большей, чем высота капиллярного подъема минерализованных грунтовых вод; 3) грунтовые воды под рисовым массивом должны быть сточными и иметь естественный базис разгрузки, находящийся за пределами рисовых систем. Только в этом случае возможно постепенное рассоление грунтовых вод. Ни одно из перечисленных условий не соблюдается на рисовых системах Кызыл-Ординской области и объясняется природными гидрогеологическими факторами, сложившимися в далекие геологические эпохи. Рассмотрим их суть на примерах массивов орошения низовья р. Сырдарии.

Рисовые системы Кызыл-Ординской области размещены вдоль рек приморских низменностей, прилегающих к Аральскому морю. Под влиянием грунтовых вод в прибрежных полосах этих низменностей аккумулировано огромное количество солей, более того, в понижениях и впадинах здесь встречаются сильнозасоленные земли, солончаки. Грунтовые воды располагаются близко от поверхности и являются бессточными и сильно минерализованными до 60 г/л.

Рис возделывается в системе севооборотов, и его доля не превышает 50%. В этом случае на полях, не занятых рисом, происходит вторичное засоление: содержание солей в верхнем слое (0–20 см) достигает в первый год 1%, а во второй – 2,5% (рисунок 2).

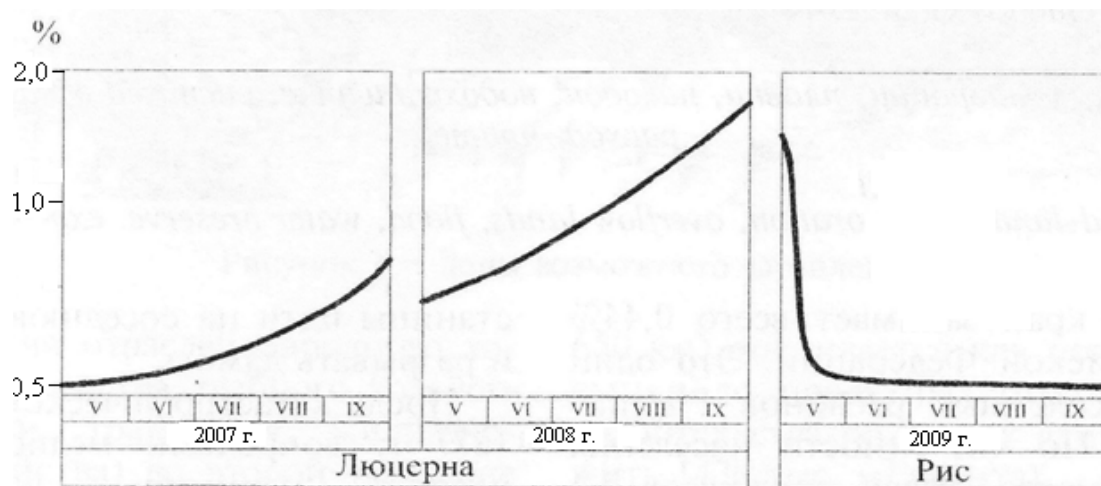


Рисунок 2 – Динамика засоления верхнего слоя (0–10 см) почвы на севооборотном чеке

Чтобы довести величину урожайности до 4–5 т/га, рекомендуются следующие мероприятия:

1. Для повышения урожайности риса в условиях Кызыл-Ординской области необходимо увеличить долю скороспелых сортов риса с продолжительностью вегетации 80–90 дней до 50–60 %. Это позволит за счет уменьшения поливного периода добиться экономии оросительной воды (примерно 12 млн м³ на 1000 га) и довести долю риса в севообороте до 50 %. Селекцио-

нерам вывести скороспелые сорта аборигенного типа – иммунные, толерантные к высоким температурам в полуденные часы (более 30°C), не полагаемые, с урожайностью не менее 5,5 т/га. Сеять рис необходимо в апреле.

2. Очистить коллекторную сеть и довести ее до глубины 3–3,5 м, чтобы в межполивной период УГВ залегал на глубине 2–2,5 м.

3. Перейти со стихийного на прецизионное водораспределение в период первоначального затопления посевов с широким применением форсированного затопления, начинать с низких участков рисовых систем, благодаря чему под поверхностью чека создастся пресная водяная подушка. Для этого необходимо реанимировать колледжи, техникумов-мелиораторов высокого профессионального уровня, которые могли бы составить план первоначального затопления с учетом гидрогеологических условий массива орошения.

4. Строго придерживаться допустимых концентраций солей в воде рисовых чеков в поливной период: 1,8 г/л в период прорастания-всходов-кущения и 2,5 г/л в остальные фазы вегетации растений риса. При достижении указанных пределов воду из чека необходимо сбросить и затопить свежей водой из оросительной сети.

Эти мероприятия позволят за счет рационального использования водных ресурсов, понижения уровня грунтовых вод в межполивной период и создания водных барьеров в поливной создать благоприятные условия для формирования высоких урожаев риса на почвах рисовых систем, склонных ко вторичному засолению.

Заключение. Внедрение на засоленных землях рисовых систем разработанной технологии орошения риса – постоянное затопление со сменной воды на рисовом поле при достижении минерализации 1,8 г/л в период прорастания всходов–кущения и 2,5 г/л в последующие фазы развития позволит избежать стихийных сбросов, обеспечит рентабельность производства риса на засоленных землях до 35 % и дополнительный сбор риса-шалы в Приаралье более чем на 100 тыс. т. Позволит снизить водную нагрузку на дренажную сеть на 25–30%, уменьшить объем сбросного стока с рисовых полей на 35–40%, ввести в сельхозоборот земли, заброшенные по причине вторичного засоления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рау А.Г. Водораспределение на рисовых системах. – М.: Агропромиздат, 1988. – 86 с.
- [2] Тулякова З.Ф. Рис на засоленных землях. – М.: Колос, 1978. – 239 с.
- [3] Beecher H.G., 1991. Effect of saline water on rise and soil properties in the Merrumbidgeevaley. Austral. J. Exp. Agr., 6(31): 819.
- [4] Asch F., M. Dingkuhn, K. Dorffling, 2000. Salinity increases CO₂ assimilation but reduce growth in field-grown irrigated rice. Plant and Soil, 218: 1-10.
- [5] Asch F., M.S.C. Wopereis, 2001. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity under semi-arid conditions. Field Crops Research, 70: 127-137.