

## ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Мустафаев Ж.С., *д-р техн.наук*, Козыкеева А.Т., *д-р техн.наук*

*Казахский национальный аграрный университет (Алматы)*

Жусупова Л.К., *магистр*

*Кызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата (Кызылорда)*

**Реферат.** На основе биохимических особенностей почвенного и растительного покровов ландшафтов разработан способ освоения засоленных земель с гидроэкологическими ограничениями, который осуществляется на основе двух симметричных и параллельно-последовательных действий по времени в годовых интервалах, с рассолением засоленных почв до определенного допустимого уровня, с подачей промывной нормы с учетом экологических требований и классификации засоленных почв и солеустойчивости сельскохозяйственных культур, а также алгоритм технологического процесса для реализации их в производственных условиях.

**Ключевые слова:** промывка, технология, засоление, способ, регулирование, экология, ограничение, почва, ландшафт, биология

**Summary.** On the basis of biochemical features of soil and vegetative cover of landscapes, a method has been developed for the development of saline lands with hydroecological restrictions, which is carried out on the basis of two symmetrical and parallel-sequential actions over time in annual intervals with desalinization of saline soils to a certain permissible level, with supply of flushing water according to environmental management and classification of saline soils and salt tolerance of agricultural crops as well as the algorithm of technological process in the production conditions.

**Key words:** flushing, technology, salinization, method, regulation, ecology, constraint, soil, landscape, biology

**Введение.** В современных условиях в аридных зонах Казахстана земельные угодья, пригодные для сельскохозяйственного использования, относятся к засоленным почвам, требующим для освоения агротехнических и мелиоративных мероприятий. Кроме того, в результате вторичного засоления почв, половина которых, использованных ранее для возделывания сельскохозяйственных культур, выведены из оборота, что требует необходимости проведения реконструкции или рекультивации. В связи с этим в настоящее время одной из актуальных задач в области сельскохозяйственного использования является освоение засоленных и подверженных засолению почв аридных зон Казахстана с учетом геоэкологических ограничений, обеспечивающих сохранение и восстановление устойчивости ландшафтных систем в условиях антропогенной деятельности [1-9].

Цель исследования – разработать алгоритм технологического процесса способа освоения засоленных земель, который осуществляется на основе двух симметричных и параллельно-последовательных действий по времени в годовых интервалах с рассолением засоленных почв до определенного допустимого уровня, с подачей промывной нормы с учетом экологических требований природообустройства, классификации засоленных почв и солеустойчивости сельскохозяйственных культур, обеспечивающих экологическую устойчивость ландшафтных систем.

**Объекты и методы исследований.** Для характеристики способа используются следующие признаки: наличие действия или совокупности действий, порядок выполнения таких действий во времени (последовательно, одновременно, в различных сочетаниях и тому подобное) и использование веществ (исходного сырья, реагентов, катализаторов и т.д.), устройств (приспособлений, инструментов, оборудования и т.д.), штаммов микроорганизмов, культур клеток растений или животных.

В предлагаемом способе освоения засоленных земель материальным объектом, где происходят действия, являются засоленные почвы, в структуре которых имеются вещества в виде солей, требующие в данном случае удаления на основе совокупности действия, то есть с помощью промывки, которая позволяет вместе с фильтрационными водами выносить с верхнего слоя почвы легкорастворимые соли и с помощью возделывания после промывки солеустойчивых культур выносить с корнеобитаемого слоя их биологическую массу, формирующуюся в процессе роста и развития растений, то есть в данном случае происходит двухстороннее рассоление, симметричное действиям промывки и возделывания солеустойчивых культур.

Способ освоения засоленных земель предполагает последовательность действия: очень сильнозасоленные – сильнозасоленные – средnezасоленные – слабозасоленные – незасоленные, с последующим возделыванием соответствующих солеустойчивых культур: очень устойчивые – устойчивые – среднеустойчивые – среднечувствительные – чувствительные. Действия выполняются во времени, причем это происходит в параллельных последствиях.

В предлагаемом способе солеустойчивые культуры используются как биологические устройства, всасывающие соли из почвы и накапливающие их в своих биологических массах, то есть как биологическая ёмкость.

**Обсуждение результатов.** Перед освоением засоленных земель составляются технологические схемы с учетом предельно-допустимого уровня техногенных нагрузок природной системы. В качестве интегрального критерия для составления технологических схем освоения засоленных земель используется классификация засоленных почв, предложенная Н.И. Базилевич и Е.Н. Пановой [10] для определения последовательности действий, то есть они не характеризуют в явном виде предлагаемый способ освоения засоленных земель, только определяют продолжительность последовательности действий.

На основе предложенного подхода разработан способ освоения засоленных земель, включающий подготовку временной оросительной и дренажной сетей и чеков, глубокое мелиоративное рыхление почвы поперек дрен, с чередованием рыхленных полос с одинаковой шириной с последующей подачей промывной воды в чеки. Способ отличается тем, что освоение засоленных земель проводится в двух симметричных и параллельно-последовательных действиях по времени в годовых интервалах с рассолением засоленных почв до определенного допустимого уровня, с подачей промывной нормы, с учетом экологических требований природообустройства, классификации засоленных почв от очень сильнозасоленных до сильнозасоленных, от сильнозасоленных до средnezасоленных, от средnezасоленных до слабозасоленных и от слабозасоленных до незасоленных, с последующим возделыванием соответствующих им солеустойчивых культур: очень устойчивые – устойчивые – среднеустойчивые – среднечувствительные – чувствительные [11].

Для реализации предлагаемого способа освоения засоленных земель разработан алгоритм технологического процесса, обеспечивающий последовательность их выполнения, которые необходимо принять для конкретных технических решений в следующем порядке.

1. Для конкретных засоленных земель, предназначенных для создания регулируемых и управляемых гидроагроландшафтных систем, на основе агрохимических исследований определяется содержание солей в почвенном слое ( $S_H$ ) в начале, а также на каждом этапе по формуле [10]:

$$S_H = 100 \cdot H \cdot d \cdot \gamma,$$

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

2. Количественное содержание солей ( $S_H$ ) в расчетном слое почвы ( $H$ ) на основе классификации засоленных земель по Н.И. Базилевичу и Е.И. Панковой определяется сте-

пень засоления почвы: незасоленные, слабозасоленные, средnezасоленные, сильнозасоленные или очень сильнозасоленные (солончаки) [10].

3. Количественное значение почвенного раствора на засоленных почвах ( $C_p^n$ ), соответствующее наименьшей влагоемкости ( $\beta_{нв}$ ), можно определить по формуле:

$$C_p^n = S_n / (100 \cdot H \cdot d \cdot \beta_{нв}),$$

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

4. По данным специальных гидрохимических служб определяется среднегодовая минерализация речных вод ( $C_o$ ), используемая для промывки и орошения гидроагроландшафтных систем.

5. Для оценки степени пригодности речных вод, используемых для промывки засоленных почв, применяется соотношение концентрации почвенного раствора ( $C_p^n$ ) к минерализации речных вод ( $C_o$ ), то есть коэффициент пригодности речных вод для промывки засоленных почв:

$$K_n^6 = C_o / C_p^n.$$

6. На основе содержания солей в засоленных землях перед освоением ( $S_n$ ), то есть количественного значения почвенного раствора ( $C_p^n$ ), соответствующей степени засоления почвы перед освоением, и среднегодовой минерализации речных вод ( $C_o$ ) определяется предельно возможный уровень рассоления почвы, используя следующую формулу:

$$S_p^{нв} = S_n \cdot K_n^6,$$

или возможное количество солей ( $\Delta S_i$ ), которое может быть удалено в процессе промывки и возделывания солеустойчивых культур:

$$\Delta S_i = S_n - S_p^{нв}.$$

7. В зависимости от степени засоления почвы, с учетом классификации засоленных почв, определяются число этапов освоения засоленных почв для создания регулируемых и управляемых гидроагроландшафтных систем (рис. 1) [1-9].

Классификация засоленных почв в зависимости от содержания плотного остатка					Показатели	
					$S_{max}$ , т/га	$\frac{Y_i}{Y_{max}}$
Солончаки					<280.0	0
Сильнозасоленные	Сильнозасоленные				280.0	0.25
Среднезасоленные	Среднезасоленные	Среднезасоленные			140.0	0.75
Слабозасоленные	Слабозасоленные	Слабозасоленные	Слабозасоленные		70.0	0.80
Незасоленные	Незасоленные	Незасоленные	Незасоленные	Незасоленные	35.0	1.00

Рис. 1. Экологическое обоснование технологической схемы освоения засоленных почв

8. Норма промывки засоленных земель при каждом этапе освоения засоленных земель определяется на основе следующего уравнения [12]:

$$N_i^n = (\alpha / \beta) \cdot \lg(S_H^i / S_{i+1}),$$

где  $N_i^n$  – норма промывки для рассоления почвы принятого этапа освоения засоленных земель, м<sup>3</sup>/га;  $S_H^i$  – содержание солей в почве в конце предыдущего этапа освоения засоленных земель, т/га;  $S_{i+1}$  – содержание солей в почве в конце принятого этапа освоения засоленных земель, т/га;  $\alpha$  – коэффициент солеотдачи засоленных почв;  $\beta$  – параметр, который зависит от скорости перемешивания промываемых вод в почвенных слоях, то есть зависимость коэффициента  $\beta$  от скорости инфильтрационного потока  $V_t^6$  аппроксимировалось выражением:  $\beta = 2.02 \cdot \exp(-9.57 \cdot V_t^6)$  [12].

9. Промывки засоленных земель выполняются с учетом скорости впитывания воды в почву промываемого поля и для этого на основе экспериментальных данных или уравнения  $V_t^6 = (V_0 - K_{\phi}) \cdot \exp(-K_e \cdot t) - K_{\phi}$  (где  $V_0$  – скорость впитывания в почву конце первого часа, м/час;  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/час;  $t$  – продолжительность промывки, час;  $K_e$  – коэффициент пропорциональности, который зависит от свойства почвы), можно построить график зависимости  $V_t = f(t)$ , характеризующий скорость впитывания воды в почву [1-9].

10. Расчетная норма промывки засоленных земель осуществляется с переменными нормами соответственно скорости впитывания воды в почву ( $V_t^6$ ) промываемых полей, и для этого определяется норма водоподачи по следующей формуле для определенного промежутка времени ( $t_i$ ):

$$N_{ti} = 10000 \cdot \frac{(V_{i1} + V_{i2})}{2} \cdot t_i,$$

где  $N_{ti}$  – норма промывки засоленных почв в каждом промежутке времени ( $t_i$ ), предусмотренная в технологической схеме, осуществляющаяся с переменной водоподачей, с соответствующими скоростями впитывания воды в почву ( $V_t^6$ ), м<sup>3</sup>/га;  $V_{i1}$  и  $V_{i2}$  – скорость впитывания воды в почву соответственно в начале и в конце промежутков времени ( $t_i$ ), м/час.

11. Удельный расход воды, подаваемый на промываемое поле ( $q_{ti}$ ) в промежутке времени ( $t_i$ ) с промывной нормой ( $N_{ti}$ ), предусмотренной в технологической схеме промывки определяется по формуле:

$$q_{ti} = \frac{1000 \cdot N_{ti}}{3600 \cdot T_{ti} \cdot t_i} = \frac{N_{ti}}{3.6 \cdot T_{ti} \cdot t_i},$$

где  $T_{ti}$  – суточная продолжительность промывки, час.

12. На основе продолжительности промывки ( $t_i$ ) засоленных почв и климатических условий осваиваемых территорий можно разработать календарный график промывки почвы и орошения возделываемых сельскохозяйственных культур, то есть для этого необходимо построить график среднемесячных температур воздуха (рис. 2) [1].

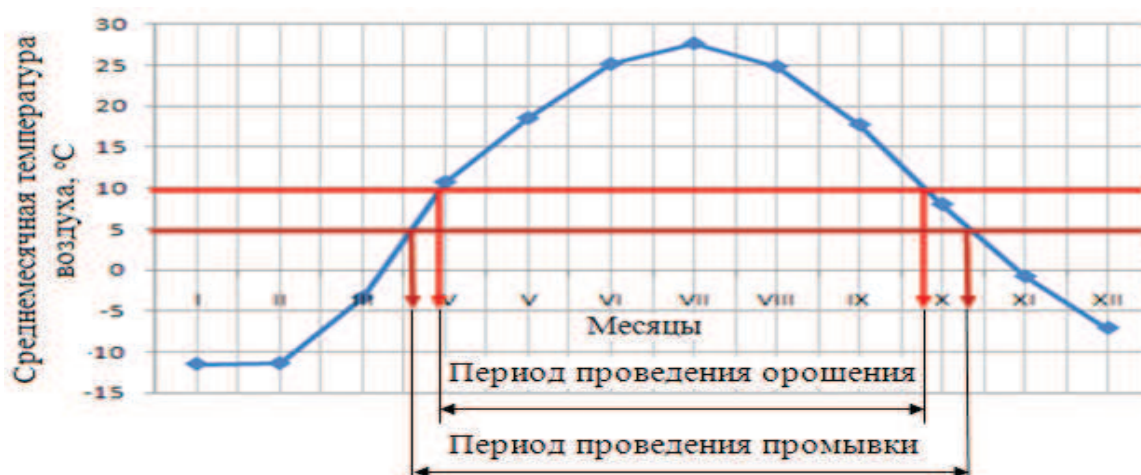


Рис. 2. График среднемесячных температур воздуха для определения периода проведения промывки и орошения (по данным метеостанции Кызылорда)

При этом период промывки засоленных земель определяется датой перехода температуры воздуха через  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и период проведения орошения сельскохозяйственных культур – датой перехода температуры воздуха через  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые позволяют целенаправленно планировать сроки проведения промывки и возделывания сельскохозяйственных культур.

13. Содержание солей в почвенном слое после промывки может быть определено по формуле [12]:

$$S_{ni} = S_{tn} \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{\alpha} \cdot N_{ii}\right),$$

количество содержания вынесенных солей из почвенного слоя в процессе промывки:

$$\Delta S_i = S_{tn} - S_{ni}.$$

14. По степени засоления почвы гидроагроландшафтов производится выбор состава солеустойчивых культур, возделываемых в каждом этапе освоения засоленных земель.

15. С учетом природно-климатических условий, то есть по естественному коэффициенту увлажнения ( $K_y = O_c / E_o$ , где  $O_c$  – атмосферные осадки, мм;  $E_o$  – испаряемость по Н. Н. Иванову, то есть:  $E_o = 0.0018(t + 25)^2(100 - a)$ , здесь  $t$  – среднемесячная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $a$  – среднемесячная относительная влажность воздуха, %) определяется биологический дефицит водопотребности сельскохозяйственных культур ( $\Delta E_v$ ), или оросительная норма ( $O_p$ ), по рекомендации Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства [13].

16. Среднедекадный дефицит водопотребности сельскохозяйственных культур ( $\Delta E_{vi}$ ) определяется на основе дефицита водопотребности сельскохозяйственных культур ( $\Delta E_v$ ) с помощью коэффициента ( $\alpha_i$ ), характеризующего распределение их внутри вегетационного периода с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур:  $\Delta E_{vi} = \alpha_i \cdot \Delta E_v$ .



17. Норма полива определяется на основе формулы А.Н. Костякова с учетом минерализации речных вод ( $C_o$ ) [14]:

$$m = 100 \cdot H \cdot d \cdot (\beta_{нв} - \beta_o) / d_{H_2O},$$

где  $H$  – мощность увлажняемого слоя почвы, м;  $d$  – плотность почвы, г/см<sup>2</sup>;  $d_{H_2O}$  – плотность воды, которая зависит от минерализации речных вод, г/л;  $\beta_{нв}$  – наименьшая влагоемкость, % от массы абсолютно сухой почвы;  $\beta_o$  – предполивная влажность почвы, % от массы абсолютно сухой почвы.

18. Режим орошения сельскохозяйственных культур рассчитывается в зависимости от сроков и количества полива с помощью построения интегральной кривой дефицита водопотребности сельскохозяйственных культур ( $\sum \Delta E_v$ ) и нормы разового полива ( $m$ ), то есть

$$\sum \Delta E_v = \sum_{i=1}^n \Delta E_{vi},$$

где  $i$  – номер декады в вегетационном периоде сельскохозяйственных культур;  $n$  – количество декад в вегетационном периоде сельскохозяйственных культур.

19. На основе фактической урожайности сельскохозяйственных культур определяется максимально возможное количество выноса солей с урожаем растений с одного гектара гидроагроландшафтных систем ( $\Delta S_{pi}$ ):

$$\Delta S_{pi} = Y_{pi} \cdot K_{pb},$$

где  $Y_{pi}$  – урожайность  $n$ -й сельскохозяйственной культуры, т/га;  $K_{pb}$  – коэффициент, характеризующий вынос солей с почвенного слоя с единичной урожайности сельскохозяйственных культур, т/ц.

20. Количество солей в расчетном слое почвы в конце вегетационного периода определяется с помощью уравнения солевого баланса засоленных земель гидроагроландшафтных систем:

$$S_{tk} = S_{tn} - (\Delta S_{ni} + \Delta S_{pi}),$$

где  $S_{tn}$  – содержание солей в почвенном слое в начале каждого этапа или внутри этапа освоения засоленных земель, т/га;  $S_{tk}$  – содержание солей в почвенном слое в начале каждого этапа или внутри этапа освоения засоленных земель, т/га.

21. На основе содержания солей в расчетном слое почвы в конце вегетационного периода определяется степень засоления почвы, и в таком порядке определяются параметры технологического процесса освоения засоленных земель внутри данного этапа и в следующем этапе.

Таким образом, разработанный алгоритм технологического процесса освоения засоленных земель на основе параллельно-последовательного действия, то есть промывки и возделывания сельскохозяйственных культур позволяет четко контролировать, управлять и регулировать виды деятельности, которые обеспечиваются принятием соответствующих агротехнических и инженерных решений. На основе предложенного способа освоения засоленных земель произведены опытно-производственные исследования в средnezасоленных почвах Тогускенского массива орошения (Жанакурганский район) и сильнозасоленных почвах Казалинского массива орошения (Казалинский район) Кызылординской области в период 2013-2016 гг. (табл.).

Результаты опытно-производственного исследования по освоению засоленных земель  
в районах и массивах орошения Кызылординской области

Показатель	Год проведения опытно-производственного исследования			
	2013	2014	2015	2016
Казалинский массив орошения (сильнозасоленные почвы)				
Содержание солей в слое почвы 0-100 см на начало вегетационного периода, т/га	241,00	183,20	148,60	121,9
Норма промывки, м <sup>3</sup> /га	8000	6000	6000	6000
Содержание солей в слое почвы 0-100 см после промывки	186,50	151,5	122,89	96,19
Вид возделываемых солеустойчивых сельскохозяйственных культур	рожь	ячмень	ячмень	ячмень
Норма орошения, м <sup>3</sup> /га	6210	6330	6290	6450
Урожайность, т/га	3,4	3,0	3,2	3,5
Вынос солей с урожаем, т/га	1,02	0,90	0,96	1,05
Содержание солей в слое 0-100 см в конце вегетационного периода, т/га	185,48	150,6	121,9	95,14
Тип засоления почвы по классификации Н.И. Базилевич и Е.Н. Пановой	Сильнозасоленные		Слабозасоленные	
Тогускенский массив (среднезасоленные почвы)				
Содержание солей в слое почвы 0-100 см на начало вегетационного периода, т/га	125,00	109,60	86,70	70,35
Норма промывки, м <sup>3</sup> /га	6000	6000	6000	6000
Содержание солей в слое почвы 0-100 см после промывки	103,38	90,64	71,70	55,35
Вид возделываемых солеустойчивых сельскохозяйственных культур	овес	пшеница	пшеница	пшеница
Норма орошения, м <sup>3</sup> /га	4960	5270	7027	5960
Урожайность, т/га	4,00	4,20	4,50	4,8
Вынос солей с урожаем, т/га	1,20	1,26	1,35	1,44
Содержание солей в слое 0-100 см в конце вегетационного периода, т/га	102,18	89,38	70,35	53,91
Тип засоления почвы по классификации Н.И. Базилевич и Е.Н. Пановой	Среднезасоленные		Слабозасоленные	

**Заключение.** Разработанный способ освоения засоленных земель на основе параллельно-последовательного действия, то есть промывки и возделывания сельскохозяйственных культур, выполняющих роль устройства для выноса солей из корнеобитаемого слоя почвы, не только ограничивается рассоляющим действием, он также обеспечивает

формирование высокой и качественной биологической продукции сельскохозяйственных культур с учетом их солеустойчивости, что увеличивает возможности возделывания различных сельскохозяйственных культур для обеспечения потребности сельского хозяйства (кормовой базы) и продовольственной безопасности, а также экологической устойчивости экосистемы региона.

### Литература

1. Мустафаев, Ж.С. Экосистемное обоснование способов освоения засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Л.В. Кирейчева, Л.К. Жусупова // *Агроэкология*. – 2015. – №2 (4). – С. 3-9.
2. Мустафаев, Ж.С. Экологическое обоснование способов освоения засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Механика и технологии*. – 2015. – № 4. – С. 53-64.
3. Мустафаев, Ж.С. Эколого-биологическое обоснование технологии реконструкций засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Гидрометеорология и экология*. – 2015. – № 3. – С. 137-150.
4. Мустафаев, Ж.С. Экосистемное обоснование способов освоения засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, Л.В. Кирейчева, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Агроэкология*, 2015. – № 2(4). – С. 4-9.
5. Кирейчева, Л.В. Эколого-биологическое обоснование технологии реконструкции засоленных земель / Л.В. Кирейчева, Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Сборник материалов Международной научно-практической конференции посвященный 85-летию образования Казахского национального аграрного университета и 100-летию заслуженного деятеля науки Республики Казахстан Тажибаева*. – Алматы, 2015. – С. 245-250
6. Мустафаев, Ж.С. Экологическое обоснование технологии освоения засоленных земель – элемент обустройства ландшафтных систем / Ж.С. Мустафаев, Л.В. Кирейчева, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Справедливое и разумное использование природных ресурсов – путь в будущее, III Уркумбаевские чтения: материалы науч.-практ. конф. (19-20 ноября 2015г.)*. – Тараз, 2015. – С. 300-304.
7. Мустафаев, Ж.С. Технология комплексного освоения засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Т.К. Карлыханов, Л.К. Жусупова // *Проблемы управления водными и земельными ресурсами: материалы международного форума (30 сент. 2015 г.)*. – Москва, 2015. – Часть 2. – С. 23-30.
8. Мустафаев, Ж.С. Эколого-биологические принципы освоения засоленных земель / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, С.И. Умирзаков, Л.К. Жусупова // *Исследования, результаты*. – 2015. – № 4. – С.106-112.
9. Абдешев, К.Б. Технология и технологическая схема промывки засоленных земель / К.Б. Абдешев, Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Л.К. Жусупова // *Мелиорация и водное хозяйство: проблемы пути решения: материалы межд. науч.-практ. конф. (29-30 ноября 2016 г.)*. – Москва, 2016. – Том 1. – С. 135-139.
10. Базилевич, Н.И. Методические указания по учету засоленных почв (проект) / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова – М.: Гипроводхоз, 1968. – 92 с.
11. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Карлыханов Т.К., Жусупова Л.К. Способ освоения засоленных земель (Патент РК, № 31836). – *Электронный бюллетень*, 2017. – № 3. – 3 с.
12. Мустафаев, Ж.С. Физико-математическое моделирование процесса выщелачивания солей из почвы / Ж.С. Мустафаев // *Плодородие почв Казахстана*. – 1986. – Вып. 2. – С. 64-72.
13. Иванов, Н.Н. Зоны увлажнения земного шара / Н.Н. Иванов // *Известия АН СССР. Серия: географические и геофизические науки*. – 1941. – № 3. – С. 261-288.
14. Костяков А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.