

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 631.67

### Методика расчета предполивной влажности почвы и поливной нормы в аридной зоне Казахстана

**Ниетбай Нуржанович Хожанов**

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз,  
Республика Казахстан, khozhanov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0859-4259>

**Аннотация. Цель:** разработка методики расчета предполивной влажности почвы на основе учета энергетических ресурсов и оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур. В данной статье, анализируя современное состояние орошаемых земель и негативные стороны существующей техники определения предполивной влажности почвы и режима орошения сельскохозяйственных культур, предложили теоретические методы оперативного расчета на основе учета энергетических ресурсов. **Материалы и методы.** При проведении исследований использован сопряженный и системный анализ, а результаты обрабатывались методами математической статистики. **Результаты.** Исследованиями выявлено, что предлагаемая методика определения режима орошения сельскохозяйственных культур на основе учета энергетических ресурсов конкретной местности по сравнению с существующей способствует развитию мелиоративно-водохозяйственного комплекса, выработке механизмов реализации стратегии инновационного социально ориентированного развития водохозяйственного комплекса. Наши предварительные исследования свидетельствуют, что поливная норма с суммарным дефицитом влажности воздуха коррелируется следующей зависимостью:  $m = \Sigma d / K_R \cdot R_H$ . При этом, учитывая то, что  $K_R = \Sigma d / R$  и  $R_H = R / H$ , и подставляя эти значения, получим, что  $m = H$ , м<sup>3</sup>/га, т. е. поливная норма прямо пропорциональна абсолютной отметке местности, а следовательно, предполивную влажность почвы можно установить по следующей зависимости:  $W_{п} = W_{нв} - R / 100 \gamma h R_H$ . **Выводы.** Исследованием установлено, что в аридных зонах существует необходимость разработки рекомендаций по режиму орошения сельскохозяйственных культур в условиях острого дефицита водных ресурсов на основе учета энергетических ресурсов местности, это позволит значительно расширить посевную площадь орошаемых земель и ускорить мелиоративное оздоровление почв аридной зоны.

**Ключевые слова:** поливная норма, предполивная влажность почвы, энергетические ресурсы, режим орошения, радиационный баланс

**Апробация результатов исследования:** основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 27 октября 2023 г.).

**Для цитирования:** Хожанов Н. Н. Методика расчета предполивной влажности почвы и поливной нормы в аридной зоне Казахстана // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 228–237.

## MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

### Methodology for calculating pre-irrigation soil moisture and irrigation rate in the arid zone of Kazakhstan

**Nietbai N. Khozhanov**

Kazakh Scientific Research Institute of Water Economy, Taraz, Republic Kazakhstan,  
khozhanov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0859-4259>

**Abstract. Purpose:** to develop a methodology for calculating pre-irrigation soil moisture based on energy resources measuring and optimizing the irrigation regime for agricultural crops. The theoretical methods for operational calculations based on energy resources measuring are proposed on the analysis of the current state of irrigated lands and the negative aspects of the existing technology for determining pre-irrigation soil moisture and crop irrigation regimes. **Materials and methods.** When conducting research, the cross-spectrum analysis and systems analysis were used, and the results were processed by methods of mathematical statistics. **Results.** Research has revealed that the proposed methodology for determining the irrigation regime for agricultural crops based on taking into account the energy resources of a particular area in comparison with the existing methodology contributes to the development of the reclamation and water management complex, the development of mechanisms for implementing the strategy of innovative socially oriented development of the water management complex. Our preliminary studies indicate that the irrigation rate with the total deficit of air humidity is correlated with the following relationship:  $m = \Sigma d / K_R \cdot R_H$ . At the same time, taking into account the fact that  $K_R = \Sigma d / R$  and  $R_H = R / H$ , and substituting these values, we obtain that  $m = H$ , m<sup>3</sup>/ha, i. e., the irrigation rate is directly proportional to the absolute elevation of the area, and therefore, pre-irrigation soil moisture can be set using the following relationship:  $W_{\pi} = W_{HB} - R / 100 \gamma h R_H$ . **Conclusions.** The study determined that there is a need to develop recommendations on the irrigation regime of agricultural crops under the conditions of acute shortage of water resources in arid zones based on taking into account the energy resources of the area, that will significantly expand the sown area of irrigated lands and accelerate the reclamation of arid zone soils.

**Keywords:** irrigation rates, pre-irrigation soil moisture, energy resources, irrigation regime, radiation balance

**Evaluation of the research results:** the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 27, 2023).

**For citation:** Khozhanov N. N. Methodology for calculating pre-irrigation soil moisture and irrigation rate in the arid zone of Kazakhstan. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):228–237. (In Russ.).

**Введение.** Для развития агропромышленного комплекса в условиях дефицита водных ресурсов требуется модернизация водохозяйственного комплекса и формирование новых направлений развития мелиоративно-водохозяйственного сектора. Эффективность функционирования агропромышленного комплекса оказывает решающее влияние на здоровье и качество жизни населения, экологическую, продовольственную безопасность.

Дальнейшая интенсификация орошаемого земледелия заключается в целенаправленном управлении всеми факторами жизни растений, и особенно водным режимом почв в условиях дефицита водных ресурсов. Решение поставленных задач связано с естественным разнообразием почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условий основных зон орошаемого земледелия. В этой связи появляется необходимость глубокого изучения процессов и закономерностей формирования мелиоративного режима почвогрунта орошаемого массива.

Целью исследований является разработка методики расчета предполивной влажности почвы на основе учета энергетических ресурсов и оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур.

Исходя из цели в задачи входят:

- теоретический анализ связи наименьшей влагоемкости (НВ) почвы с радиационным балансом местности;
- разработка теоретических методов определения предполивной влажности почвы и режима орошения сельскохозяйственных культур с учетом энергетических ресурсов.

**Методика исследований.** Многочисленные результаты проведенных исследований свидетельствуют, что дифференциация по почвенно-климатическим зонам четко прослеживается по совокупности тепловых (энергетических) ресурсов и атмосферных осадков. Энергетическая составляющая ресурсов при определении влагообеспеченности географических зон выражается функцией испаряемости [1–5].

При проведении исследований использован сопряженный и системный анализ, а результаты обрабатывались методами математической статистики. Существующие методики расчетов предполивной влажности почвы и поливной нормы в условиях острого дефицита водных ресурсов обуславливают изыскания новых направлений. Зональная оценка существующей

щей технологии в условиях дефицита водных ресурсов не соответствует действительности по следующим причинам:

- во-первых, почвы неоднородны, поэтому расчетные величины поливной нормы во многих случаях превышают действительные на 25–30 %, что приводит к повсеместному подъему уровня грунтовых вод, которое явилось причиной ухудшения мелиоративного состояния всей аридной зоны;

- во-вторых, такие идеи 60-х гг. прошлого столетия, как введение промывного режима орошения, т. е. увеличение нормы дополнительно на 20 %, способствовали усилению процесса деградации орошаемых земель;

- в-третьих, чрезмерное увеличение нормы внесения минеральных удобрений способствовало резкому ухудшению водно-физических свойств почвы.

Эти и другие негативные обстоятельства в аграрном секторе аридной зоны обуславливают рассмотрение проблем использования водных ресурсов в сельском хозяйстве в новой редакции.

**Результаты исследований.** Режим орошения сельскохозяйственных культур – совокупность поливных норм, количества и сроков поливов; разрабатывается по значениям оросительных и поливных норм, их внутрисезонному распределению, графоаналитическим методом. Однако в последние годы в силу острого дефицита водных ресурсов данные рекомендации во многих регионах не выдерживаются, что приводит к недобору урожая возделываемых культур. Эти и другие негативные вопросы требуют пересмотра политики водораспределения в сельском хозяйстве с позиции оптимизации энергетических ресурсов. Данное, как нам кажется, позволит стабилизировать рациональное использование земельно-водных ресурсов и значительно оздоровить экологическую обстановку в орошаемом земледелии.

Наши изначальные исследования свидетельствуют [6, 7], что поливная норма с суммарным дефицитом влажности воздуха коррелируется следующей зависимостью:

$$m = \Sigma d / K_R \cdot R_H, \quad (1)$$

где  $\Sigma d$  – сумма дефицита влажности воздуха;

$K_R$  – коэффициент солнечной радиации;

$R_H$  – индекс радиационного баланса.

При этом, учитывая то, что  $K_R = \Sigma d / R$  и  $R_H = R / H$ , и подставляя эти значения в формулу (1), получим, что  $m = H$ , м<sup>3</sup>/га, при уровнях абсолютных отметок местности в интервале 200–1300 м, т. е. поливная норма прямо пропорциональна абсолютной отметке местности.

Таким образом, приравнивая расчетные поливные нормы по формуле А. Н. Костякова  $m = 100\gamma h(\beta_{\text{НВ}} - \beta_0)$  к  $m = R / R_H$ , получим, что предполивную влажность почвы можно установить по следующей зависимости:

$$W_{\text{п}} = W_{\text{НВ}} - R / 100\gamma h R_H,$$

где  $R$  – радиационный баланс местности, ккал/см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;

$h$  – расчетный слой почвы, м;

$R_H$  – индекс радиационного баланса, ккал/(см<sup>2</sup>·м).

Данные расчета предполивной влажности почвы по вышеприведенной формуле представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Расчетная предполивная влажность почвы с учетом энергетических ресурсов местности**

**Table 1 – Estimated pre-irrigation soil moisture taking into account the energy resources of the area**

НВ	$R$	$\gamma$	$R_H$	$R/100\gamma h R_H$	$W_{\text{п}}$
1	2	3	4	5	6
Легкосуглинистая почва, расчетный слой $h = 0,3$ м (Туркестанская область)					
17	184,8	1,2	0,58	8,85	8,15
17	202,3	1,3	0,98	5,29	11,71
17	210,2	1,4	1,14	4,39	12,61
Расчетный слой $h = 0,5$ м (Жамбылская область)					
17	173,2	1,2	0,24	12,02	4,98
17	149,9	1,3	0,16	14,41	2,59
17	153,3	1,4	0,13	16,80	0,20

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6
Расчетный слой $h = 0,8$ м (Жамбылская область)					
17	173,2	1,2	0,24	7,50	9,5
17	149,9	1,3	0,16	9,0	8,0
17	153,3	1,4	0,13	10,52	6,5
Расчетные опытные данные по Жамбылской области					
15,56	173,2	1,58	0,49	3,38	12,18
16,74	153,3	1,39	0,13	10,61	6,13

Из  $R_H = R/H$  следует, что:

$$W_{\text{п}} = W_{\text{НВ}} - H/100\gamma h,$$

где  $W_{\text{п}}$  – предполивная влажность почвы, %;

$W_{\text{НВ}}$  – НВ почвы, %;

$H$  – абсолютная отметка местности, м;

$\gamma$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;

$h$  – расчетный слой почвы, м.

Из данных таблицы 1 следует, что показатель предполивной влажности почвы – величина неустойчивая и меняется в зависимости от радиационного баланса ( $R$ ) местности. При  $W_{\text{НВ}} = 18$  и  $20$  %,  $h = 0,5$  м и  $\gamma = 1,5$  г/см<sup>3</sup> зависимость предполивной влажности почвы от радиационного баланса для Туркестанской и Жамбылской областей имеет следующий вид (таблица 2).

**Таблица 2 – Предполивная влажность почвы в зависимости от радиационного баланса для условий Туркестанской и Жамбылской областей Казахстана ( $h = 0,5$  м,  $\gamma = 1,5$  г/см<sup>3</sup>)**  
 В %

**Table 2 – Pre-irrigation soil moisture depending on the radiation balance for the conditions of Turkestan and Zhambyl regions of Kazakhstan ( $h = 0.5$  m,  $\gamma = 1.5$  g/cm<sup>3</sup>)**  
 In %

Зона с $R$ , кДж/см <sup>2</sup>	При $W_{\text{НВ}} = 18$ %	При $W_{\text{НВ}} = 20$ %
120–130	$W_{\text{п}} = 134,7 - 1,01R$	$W_{\text{п}} = 139,1 - 1,03R$
130–150	$W_{\text{п}} = 4,5 + 0,06R$	$W_{\text{п}} = 0,065R + 0,75$
150–160	$W_{\text{п}} = 0,35R - 44,0$	$W_{\text{п}} = 0,39R - 48,2$
160–170	$W_{\text{п}} = 81,6 - 0,43R$	$W_{\text{п}} = 90,2 - 0,47R$
170–180	$W_{\text{п}} = 0,16R - 16,0$	$W_{\text{п}} = 0,18R + 17,4$

Данное свидетельствует, что предполивная влажность почвы прямо пропорциональна радиационному балансу местности. Поэтому при расчетах поливной нормы следует на это обратить внимание. В этом аспекте разработанные ранее рекомендации по режиму орошения сельскохозяйственных культур с учетом водно-физических свойств почвы на сегодняшний день себя не оправдывают, так как установленные календарные сроки не совпадают, что на протяжении долгих лет способствовало увеличению поливной нормы.

В этом плане предлагаемая методика определения предполивной влажности почвы на основе расчета с учетом энергетических ресурсов конкретной местности позволяет наиболее точно установить поливную норму и значительно (20–25 %) сэкономить живительную влагу, тем самым существенно расширить посевную площадь возделываемых культур.

Опытные данные подтверждают теоретические домыслы, что в условиях дефицита водных ресурсов данная методика даст положительные результаты и позволит разработать научную программу качественной оценки и прогноза использования водопотребления на основе учета энергетических ресурсов.

Расчетные величины поливной нормы в сравнении с рекомендуемыми [8] в центральных и южных зонах Казахстана представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Расчет поливной нормы**

В м<sup>3</sup>/га

**Table 3 – Calculation of irrigation rates**

In m<sup>3</sup>/ha

Метеостанция	Расчет по формуле		Разница (+/-)
	А. Н. Костякова	Н. Н. Хожанова	
1	2	3	4
Павлодарская область			
Михайловка	323,7	144,2	+179,5
Федоровка	323,7	171,6	+142,1
Иртышок	323,7	93,0	+230,7
Лозовая	323,7	107,4	+216,3
Голубовка	323,7	126,3	+197,4

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4
Жамбылская область			
Уланбель	323,7	266,9	+56,8
Мойынкум	323,7	355,9	–32,2
Уюк	323,7	378,1	–54,4
Байкадам	323,7	342,1	–18,4
Кулан	323,7	710,0	–386,3
Туркестанская область			
Сузак	323,7	317,2	+6,5
Туркестан	323,7	206,1	+117,6
Кызылкум	323,7	184,2	+139,5
Тюлькубас	323,7	808,6	–484,9
Арыс	323,7	231,8	+91,9

При расчете по формуле А. Н. Костякова были взяты следующие значения, характерные для среднесуглинистой почвы:  $W_{\text{нв}} = 19,1 \%$ , объемная масса –  $1,42 \text{ г/см}^3$ ; предполивная влажность почвы –  $15,3 \%$ .

Данные свидетельствуют, что в Павлодарской области поливные нормы почти вдвое превышают требуемую величину, рассчитанную по радиационным показателям, они в конечном счете идут на подпитку грунтовых вод. В южных областях за исключением отдельных территорий, где отмечаются высокие абсолютные отметки, расчетные данные имеют расхождения, как, например, в Жамбылской области на метеостанции Кулан. Данное, по-видимому, произошло из-за высоких абсолютных отметок местности, поэтому следует уточнить фактическую величину в дальнейших исследованиях.

**Выводы.** Таким образом, исследования показывают, что в условиях аридной зоны существует необходимость разработки рекомендаций по режиму орошения сельскохозяйственных культур на фоне острого дефицита водных ресурсов на основе учета энергетических ресурсов местности, это позволит значительно расширить посевную площадь орошаемых земель и ускорить мелиоративное оздоровление почв аридной зоны.

**Список источников**

1. Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.



2. Шабанов В. В., Орлов И. С. Оценка природно-хозяйственного риска в условиях изменения климата (на примере сельскохозяйственной деятельности). М.: МГПУ, 2003.
3. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 375 с.
4. Шабанов В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 141 с.
5. Алпатыев А. М. Развитие, преобразование и охрана природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
6. Хожанов Н. Н., Безбородов Ю. Г. Оптимизация поливной нормы сельскохозяйственных культур на основе использования энергетических ресурсов // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 108–112. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp108-112>.
7. Хожанов Н. Н. Математическая модель прогнозирования поливной нормы сельскохозяйственных культур // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 104–108. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp104-108>.
8. Рекомендация по режиму орошения сельскохозяйственных культур / КазНИИВХ. Тараз, 2007.

## References

1. Selyaninov G.T., 1937. *Metodika sel'skokhozyaystvennoy kharakteristiki klimata* [Methods of climate description to agricultural purposes]. *Mirovoy agroklimaticheskii spravochnik* [World Climate and Agriculture Handbook]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., pp. 5-27. (In Russian).
2. Shabanov V.V., Orlov I.S., 2003. *Otsenka prirodno-khozyaystvennogo riska v usloviyakh izmeneniya klimata (na primere sel'skokhozyaystvennoy deyatel'nosti)* [Assessing Natural and Economic Risk Under Climate Change (Using the Example of Agricultural Activity)]. Moscow, MGPU Publ. (In Russian).
3. Kharchenko S.I., 1975. *Gidrologiya oroshaemykh zemel* [Hydrology of Irrigated Lands]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 375 p. (In Russian).
4. Shabanov V.V., 1981. *Vlagoobespechennost' yarovoy pshenitsy i yeye raschet* [Moisture Availability of Spring Wheat and Its Calculation]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 141 p. (In Russian).
5. Alpatyev A.M., 1983. *Razvitie, preobrazovanie i okhrana prirodnoy sredy* [Development, Transformation and Protection of the Natural Environment]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 240 p. (In Russian).
6. Khozhanov N.N., Bezborodov Yu.G., 2021. *Optimizatsiya polivnoy normy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na osnove ispol'zovaniya energeticheskikh resursov* [Optimization of the irrigation rates of agricultural crops based on the use of energy resources]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural Scientific Journal], no. 11, pp. 108-112, <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp108-112>. (In Russian).
7. Khozhanov N.N., 2021. *Matematicheskaya model' prognozirovaniya polivnoy normy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Mathematical model for forecasting the irrigation rate of agricultural crops]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 9, pp. 104-108, <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp104-108>. (In Russian).
8. *Rekomendatsiya po rezhimu orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Recommendation on the Irrigation Regime for Agricultural Crops]. KazNIIVH, Taraz, 2007. (In Russian).

---

### Информация об авторе

**Н. Н. Хожанов** – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз, Республика Казахстан, [khozhanov55@mail.ru](mailto:khozhanov55@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0859-4259>.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 228–237.  
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2023. Vol. 91, no. 3. P. 228–237.

***Information about the author***

**N. N. Khozhanov** – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Kazakh Scientific Research Institute of Water Economy, Taraz, Republic Kazakhstan, khozhanov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0859-4259>.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.  
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 21.09.2023; одобрена после рецензирования 17.10.2023;  
принята к публикации 24.10.2023.  
The article was submitted 21.09.2023; approved after reviewing 17.10.2023; accepted for  
publication 24.10.2023.*