

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6:631.67

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-35-40

## ВОПРОСЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПО НЕОБХОДИМОСТИ ОРОШЕНИЯ

**МАРКИН ВЯЧЕСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ**✉, канд. тех наук, доцент

mvnarkin@mail.ru

**ГЛАЗУНОВА ИРИНА ВИКТОРОВНА**, канд. тех наук, доцент

ivglazunova@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Тимирязевская. 49, Россия

*Цель работы – определить зависимость, которая позволяет упростить определение вероятности необходимости орошения в зависимости от параметров почвенной неоднородности в мезомасштабе. Это позволит осуществлять районирование территорий с учетом разных ландшафтных уровней. Получена функция, определяющая вероятность необходимости орошения в зависимости от среднесезонных влагозапасов. В диапазоне от влажности завядания до полной влагоемкости эта функция (с точностью 5%) является линейной. Орошение почв позволяет создать оптимальные условия выращивания растений, но появляется ряд негативных последствий, в том числе изменяются условия почвообразования, при которых снижается плодородие почв. При орошении необходимо учитывать разнообразие условий, которые определяются почвенной неоднородностью и стохастичностью погодных условий. Поэтому требуется количественное обоснование необходимости орошения с учетом разных по масштабу ландшафтных элементов: макро-, мезо- и микроуровни (точная мелиорация). Обоснование базируется на сопоставлении требований растений с условиями среды. Степень их соответствия определяет вероятность необходимости орошения, которая для одной и той же культуры изменяется в зависимости от почвенной неоднородности. Подобрана S-образная кривая, аппроксимирующая интегральную кривую распределения, которая позволяет для заданного уровня продуктивности сельскохозяйственных культур, по величине среднесезонных почвенных влагозапасов и их среднеквадратическому отклонению, определить вероятность необходимости орошения. Мезонеоднородность почвенных влагозапасов приводит к изменению вероятности необходимости орошения на 10-53% для одной и той же культуры, меньшие значения соответствуют влаголюбивым культурам.*

**Ключевые слова:** орошение, почвенная неоднородность, среднесезонные влагозапасы, требования растений, вероятность необходимости орошения

**Формат цитирования:** Маркин В.Н., Глазунова И.В. Вопросы районирования территории по необходимости орошения // Природообустройство. – 2022. – № 3. – С. 35-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-35-40.

© Маркин В.Н., Глазунова И.В., 2022

Original article

## ISSUES OF ZONING OF THE TERRITORY ACCORDING TO THE NEED FOR IRRIGATION

**MARKIN VYACHESLAV NIKOLAEVICH**✉, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

mvnarkin@mail.ru

**GLAZUNOVA IRINA VIKTOROVNA**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ivglazunova@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, Institute of Land Reclamation, Water management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

*Moisture conditions required by crops are created with the help of irrigation in the soil. However, there is a number of negative consequences of irrigation. One of them is soil formation conditions changing which*

can decrease soil fertility. It is necessary to consider soil heterogeneity and stochastic weather conditions, while irrigation substantiation. Therefore, a quantitative irrigation substantiation taking into account landscape: macro, meso and micro (precise land reclamation) is required. Irrigation substantiation is based on a comparison of plant requirements for soil moisture and environmental conditions (actual soil moisture). On the base of the above comparison a probability of irrigation necessity is determined. Irrigation necessity depends on soil heterogeneity. The purpose of the work is to determine the function, which makes it easier to calculate the probability irrigation necessity depending on the parameters of soil heterogeneity to provide zoning soil taking into account different sizes of agricultural land sites. The function makes it possible to determine the irrigation probabilities depending on the average annual moisture of soil. The function is a linear dependence in the range of wilting moisture of plants up to the full moisture capacity.

**Keywords:** irrigation, soil heterogeneity, average annual soil moisture, crop requirements for the soil moisture, probability of irrigation necessity

**Format of citation:** Markin V.N., Glazunova I.V. Issues of zoning of the territory according to the need for irrigation // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 3. – P. 35-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-35-40.

**Введение.** Орошение – важный источник воздействия на окружающую среду. Наряду с преобразованием среды и созданием более благоприятных условий для произрастания сельскохозяйственных растений появляется ряд негативных последствий [1]. Последствия связаны с изменениями условий почвообразования, снижением плодородия почв, деградацией почв в результате их засоления, и в итоге – с истощением и загрязнением водных объектов. Поэтому требуется количественное обоснование каждого вида мелиоративного воздействия. С учетом стохастичности метеорологических и почвенных условий для обоснования предлагался [2] путь определения вероятности необходимости орошения или осушения. Определение вероятности основано на сопоставлении требований растений с почвенными влагозапасами. Учитывая пространственно-временную неоднородность почв (на макро-, мезо- и микроуровнях), задачу можно решить на основе районирования территорий, что в свою очередь требует простого и точного механизма реализации. Таким механизмом является зависимость искомой вероятности необходимости орошения от параметров, полностью характеризующих условия среды по рассматриваемому фактору, то есть параметров закона распределения влагозапасов. Ранее было показано, что функция распределения влагозапасов может быть аппроксимирована нормальным законом распределения вероятностей [2] и определяться среднелетней величиной и среднеквадратическим отклонением почвенных влагозапасов.

**Материалы и методы исследований.** Обоснование необходимости орошения делается с учетом биологических характеристик растений и природно-климатических особенностей среды [3]. Биологические характеристики учитываются функцией требований растений, то есть зависимостью их продуктивности ( $S$ ) от продуктивных влагозапасов в почве ( $W$ ).

Кривая требований позволяет определить нижний оптимальный для растения предел почвенных влагозапасов ( $W_1$ ), соответствующий плановой продуктивности ( $S_{\text{план}}$ ) (рис. 1).

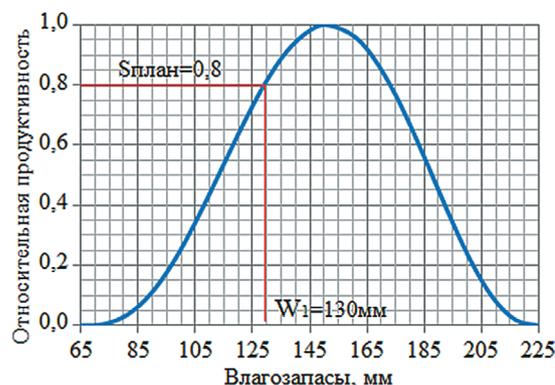


Рис. 1. Кривая требований яровой пшеницы к почвенным влагозапасам в слое 0...50 см (суглинистый выщелоченный чернозем)

Fig. 1. The curve of spring wheat requirements for soil moisture reserves in the layer 0...50 cm (loamyleachedchernozem (blackearth))

Природно-климатические особенности среды в силу их пространственно-временной неоднородности [2, 4] учитываются функцией распределения рассматриваемого фактора. При обосновании орошения, которое позволяет оптимизировать содержание влаги в почве, таким фактором служат почвенные влагозапасы. Функция их распределения полностью характеризует условия среды по рассматриваемому фактору и отражает почвенную неоднородность. В отношении почвенных влагозапасов в слое 0-50 и 0-100 см почвы кривая распределения хорошо соответствует нормальному закону.

Нижний оптимальный для растения предел почвенных влагозапасов  $W_1$  отсекает под кривой распределения левую зону, которая соответствует вероятности необходимости орошения ( $P_{\text{оп}}$ ) (рис. 2А) [5].

Нормальный закон распределения определяется среднегодовыми значениями влагозапасов ( $W_{cp}$ ) и их среднеквадратическими отклонениями ( $s$ ), а интеграл функции описывается S-образной функцией (функция

Лапласа) (рис. 2Б). Данная функция использует относительные влагозапасы, которые определяются по формуле:

$$W' = 5 - \frac{W_{cp} - W_1}{\sigma}$$

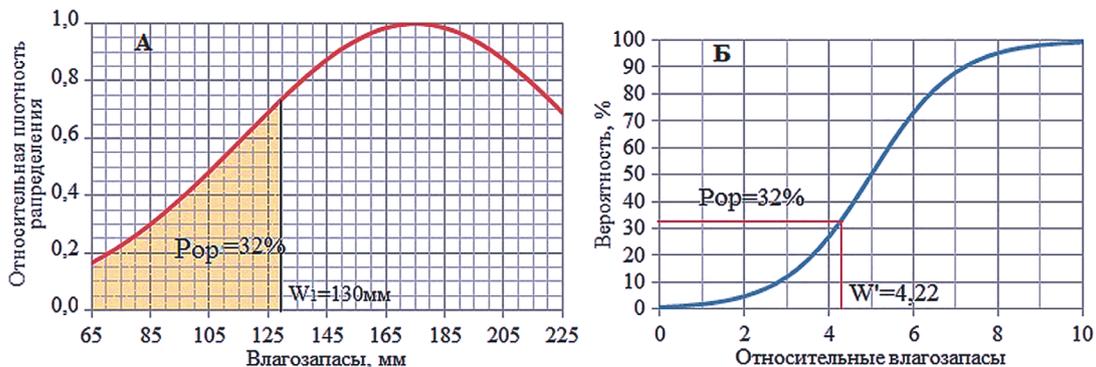


Рис. 2. Кривая распределения почвенных влагозапасов в слое 0...50 см (А) и интегральная функция кривой нормального распределения (Б) для условий Воронежской области: суглинистый выщелоченный чернозем,  $W_{cp} = 175$  мм,  $s = 58$  мм

Fig. 2. Distribution curve of soil moisture reserves in the layer 0... 50 cm (A) and Integral function of normal distribution curve (B) for the Voronezh region conditions: (loamy leached chernozem (black earth),  $W_{av} = 175$  mm, ( $s = 58$  mm)

Функция Лапласа позволяет получать значения вероятности для заданного значения влагозапасов табличным или графическим способами. Такая процедура не всегда подходит для обработки больших массивов данных, которые необходимы при районировании территорий. Поэтому была подобрана простая S-образная функция, хорошо соответствующая функции Лапласа (рис. 3).

$$P = \frac{100}{1 + \exp(1,7 \times (5 - W'))}, \%$$

Для определения вероятности необходимости орошения в конкретных условиях (почвенных влагозапасов и их среднеквадратического отклонения) подобранная функция преобразована к виду:

$$P_{op} = \frac{100}{1 + \exp\left(1,7 \times \frac{W_{cp} - W_1}{\sigma}\right)}, \%$$

Получаемая вероятность  $P_{op}$  позволяет определить степень необходимости орошения с помощью данных таблицы 1, выделяя низкую (орошение не проводится, так как они

не обоснованы экологически и экономически), среднюю (орошение экологически обосновано, но проводится в случае экономической эффективности) и высокую (орошение экологически и экономически целесообразно) необходимость.

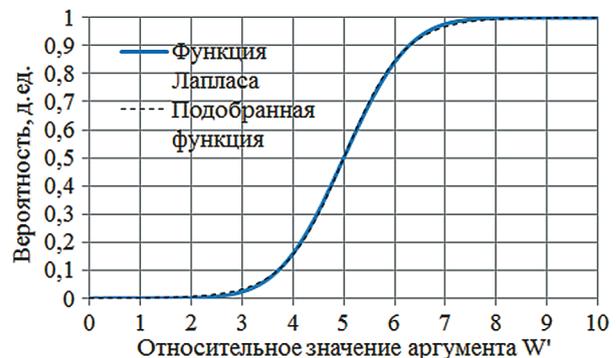


Рис. 3. Сопоставление интегральной функции Лапласа для нормального распределения с подобранной S-образной функцией: расхождение ординат функций – менее 1%

Fig. 3. Comparison of the Laplace integral function for the normal distribution with the selected S-function (ordinate of functions divergence is of less than 1%)

Таблица 1

### Степень необходимости мелиоративного воздействия [6]

Table 1

#### Degree of need for reclamation impact [6]

Степень необходимости / Degree of need	Низкая / Low	Средняя / Medium	Высокая / High
$P_{op}$ , %	<10	10-30	>30

Применение полученной формулы дано на примере обоснования орошения ведущих сельскохозяйственных культур, выращиваемых в разных агрогидрологических районах Воронежской области. Агрогидрологические районы отражают мезонеоднородность почв по условиям формирования запасов влаги в почве. В Воронежской области выделяют три района [7]:

- ПВП – тип полного весеннего промачивания, формируемый на серых лесных почвах, черноземах выщелоченных и др., на лессовидных суглинках с проникновением талых вод на глубину 2-3 м.

- УВП – тип умеренного весеннего промачивания почв, характерный для почв с непромывным водным режимом, при весеннем промачивании до глубины 1.5-2 м. К ним относятся тяжелосуглинистые черноземы и другие почвы полусухой зоны, подстилаемые лессовидными суглинками.

- СВП – тип слабого весеннего промачивания почв, формируемый в условиях

непромывного режима, до глубины 10-1.2 м. Данный тип водного режима характерен для черноземов типичных, обыкновенных, карбонатных и южных, средне- и тяжелосуглинистого механического состава на лессовидных суглинках и глинах.

Каждый район рассматривается с точки зрения потребности конкретного растения в орошении, что позволяет, например, выбрать тот ландшафтный элемент ее выращивания, где требуемое гидромелиоративное воздействие будет минимальным.

Воронежская область является крупным производителем пшеницы, сахарной свеклы, овощей и других культур (табл. 2, 3). Однако с учетом того, что более половины области находится в зоне недостаточного увлажнения, где засуха отмечается почти ежегодно, продовольственная безопасность обеспечивается развитием орошения [8]. Эффективность орошения для различных культур показана на примере данных таблиц 2, 3.

Таблица 2

Урожайность сельскохозяйственных культур в Воронежской области на орошаемых землях и богаре [9]

Table 2

Yield of agricultural crops in the Voronezh region on irrigated lands and boghara [9]

Сельскохозяйственные культуры <i>Agricultural crops</i>	Урожайность, ц/га	
	Орошение / <i>Irrigation</i>	На богаре / <i>on the boghara</i>
Овощи / <i>Vegetables</i>	259	106
Сахарная свекла / <i>Sugar beet</i>	294	188
Многолетние травы, сено / <i>Perennialherbs, hay</i>	36.9	13,0
Кормовые корнеплоды / <i>Fodderrootcrops</i>	331	206

Таблица 3

Вклад Воронежской области в производство отдельных видов сельскохозяйственной продукции [10]

Table 3

The contribution of the Voronezh region to the production of certain types of agricultural products [10]

Культура <i>Crop</i>	Место в РФ <i>Place in RF</i>	Удельный вес, % <i>Specific weight, %</i>
Зерновые / <i>Cereals</i>	4	4,2
Сахарная свекла <i>Sugar beet</i>	2	11,9
Картофель / <i>Potatoes</i>	1	5,6
Овощи / <i>Vegetables</i>	7	3,2

**Результаты и их обсуждение.** Использование предложенной S-образной кривой позволяет определить вероятность необходимости орошения для заданного уровня продуктивности сельскохозяйственных культур по величине среднегодовых почвенных влагозапасов и их среднеквадратическому отклонению.

Анализ S-образной кривой показывает, что в пределах относительных влагозапасов  $W^* = 3.9-6.3$  функция может быть заменена прямой линией (рис. 4). Расхождение значений ординат функции Лапласа и линейной функции не превышает 5% (рис. 5). С учетом усечения кривой нормального распределения по величине продуктивных влагозапасов нижний предел  $W^* = 3.9$  близок к влажности завядания (ВЗ, которая соответствует величине  $W_{ВЗ}^* = 1.67-3.1$ , а вероятность – в среднем  $P_{ВЗ} = 0...4\%$ ). Верхний предел  $W^* = 6.3-7.73$  приближается к полной влагоемкости (ПВ, которая соответствует величине  $W_{ПВ}^* = 6.55$ , а вероятность – в среднем  $P_{ПВ} = 93\%$ ).

Таким образом, диапазон относительных продуктивных влагозапасов  $W_{ВЗ}^* - W_{ПВ}^* = 3.1-6.55$  включает в себя диапазон влагозапасов, в котором вероятность необходимости орошения может определяться по линейной зависимости

$$P_{\text{прямая}} = 0.35 \cdot W^* - 1.25$$

Данный диапазон включает в себя вероятности почвенных влагозапасов в пределах

14-90%, что перекрывает диапазон нормально распределенной случайной величины в пределах (1.3-1.5) s.



Рис. 4. Соответствие части S-образной кривой линейной зависимости  
Fig. 4. Correspondence of part of the S-curve to a linear dependence

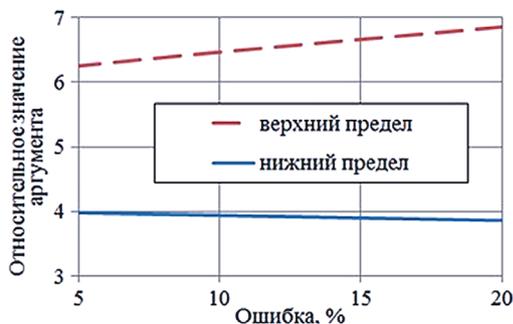


Рис. 5. Границы диапазона относительных значений аргумента  $W^2$ , в котором функция Лапласа с допустимой ошибкой соответствует линейной зависимости

Fig. 5. Boundaries of the range of relative values of the argument  $W^2$  in which the Laplace function, with a valid error, corresponds to a linear dependence

С использованием полученных зависимостей определены вероятности необходимости орошения сельскохозяйственных культур (табл. 2) в условиях Воронежской области на выщелоченных суглинистых черноземах, с учетом мезонеоднородности влагозапасов (по агрогидрологическим районам) (табл. 3).

Таблица 2

**Нижний оптимальный предел почвенных влагозапасов ( $W_1$ , мм) с.-х. культур (уровень продуктивности  $S_{\text{план}} = 0.8$ ) для суглинистых почв Воронежской области: ПВ = 200 мм; ВЗ = 60 мм**

Table 2

**The lower optimal limit of soil moisture reserves ( $W_1$ , mm) of agricultural crops (productivity level  $S_{\text{план}} = 0.8$ ) for loamy soils of the Voronezh region (PV = 200 mm, VZ = 60 mm)**

Яровая пшеница <i>Spring wheat</i>	Корнеплоды <i>Roots</i>	Капуста <i>Cabbage</i>	Многолетние злаковые травы <i>Perennial cereal herbs</i>
110	125	130	117

Таблица 3

**Среднегодовое значение ( $W_{\text{ср}}$ , мм) продуктивных влагозапасов и их среднегодовое отклонение ( $s$ , мм) в слое 0...50 см суглинистой почвы для условий Воронежской области по агрогидрологическим районам (АГР)**

Table 3

**Long-term average ( $W_{\text{ср}}$ , mm) of productive moisture reserves and their long-term average deviation ( $s$ , mm) in the layer of 0... 50 cm loamy soil for the conditions of the Voronezh region, by agrohydrological areas (AGR)**

АГР	$W_{\text{ср}}$	$s$
ПВП	111	33
УВП	101	35
СВП	87	35

Вероятности необходимости орошения всех культур являются достаточно высокими, что говорит о высокой степени необходимости орошения (табл. 4). По агрогидрологическим районам вероятности отличаются на 10-53% для одной и той же культуры. В пределах одного АГР вероятности отличаются для разных культур на 8-49%.

Таблица 4

**Вероятности необходимости орошения с.-х. культур в условиях Воронежской области по агрогидрологическим районам, %**

Table 4

**Probabilities of the need for irrigation of agricultural crops in the conditions of the Voronezh region by agrohydrological areas, %**

АГР / AGR	Яровая пшеница <i>Spring wheat</i>	Корнеплоды* <i>Roots</i>	Капуста* <i>Cabbage</i>	Мн. злаковые травы* <i>Perennial cereal herbs</i>
ПВП / PVP	49	67	73	58
УВП / UVP	61	76	80	69
СВП / SVP	75	86	89	81

\*Примечание. Расчеты сделаны по влагозапасам под яровой пшеницей, для проверки общей тенденции изменения вероятности необходимости орошения.

\*Note. Calculations are made on moisture reserves under spring wheat, to check the general trend of changes in the probability of the need for irrigation.

## Выводы

Подобрана S-образная кривая, аппроксимирующая интегральную кривую распределения, которая позволяет для заданного уровня продуктивности сельскохозяйственных культур по величине среднегодового почвенных влагозапасов и их среднеквадратическому отклонению определить вероятность необходимости орошения.

В пределах диапазона изменения влагозапасов (1.3-5) s вероятность необходимости

орошения с точностью до 5% описывается линейной зависимостью.

Мезонеоднородность почвенных влагозапасов приводит к изменению вероятности

необходимости орошения на 10-53% для одной и той же культуры, причем меньшие значения соответствуют влаголюбивым культурам.

#### Библиографический список

1. **Yasonidi O.E.** 2004 Water conservation in irrigation, monograph SCM Nabla URGU (NPI). – 2004. – P. 473.
2. **Шабанов В.В.** Биоклиматическое обоснование мелиораций. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 166 с.
3. **Маркин В.Н., Шабанов В.В.** Обоснование орошения с учетом сохранения условий естественного почвообразования в Воронежской области // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: Материалы I Международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, г. Воронеж, 30 апреля 2021 г. – Воронеж: ВГАУ, 2021. – С. 348-356.
4. **Markin V.N., Glazunova I.V., Matveeva T.I., Sokolova S.A.** Issues on soil moisture management substantiation for the steppe conditions in the European part of Russia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – 1010(1). – 012024.
5. **Дубенок Н.Н., Солошенко А.Д., Шабанов В.В.** Подекадная продуктивность озимых зерновых культур на почвах глинистого и суглинистого механических составов по агрогидрологическим районам Воронежской области. Свидетельство о регистрации базы данных 2021620368, 02.03.2021. Заявка № 2021620247 от 20.02.2021.
6. **Шабанов В.В.** Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 145 с.
7. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами по областям, краям, республикам и экономическим районам: Справочник / Под ред. В.А. Жукова. – Т. 1. Европейская часть СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 123 с.
8. **Смолянинов В.М., Шмыков В.И., Матвеева Л.И.** Орошение как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного производства Воронежской области // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. Вып. 2. – С. 694-697.
9. Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в Центрально-Черноземных областях. – Новочеркасск: ЦЧО-Гипроводхоз, Югмелиорация, 1988. – 36 с.
10. **Рисин И.Е., Трещевский Ю.И., Петрыкина И.Н.** Стратегический анализ региона (на примере Воронежской области) // Вестник ВГУ. – Серия «Экономика и управление». – 2016. – № 3. – С. 54-64.

#### Критерии авторства

Маркин В.Н., Глазунова И.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 14.05.2022

Одобрена после рецензирования 24.05.2022

Принята к публикации 26.06.2022

#### References

1. **Yasonidi O.E.** 2004 Water conservation in irrigation, monograph SCNabla YURSTU (NPI) 2004 p 473
2. **Shabanov V.V.** Bioklimaticheskoe obosnovanie melioratsij. – L: Gidrometeoizdat, 1973. – 166 s.
3. **Markin V.N., Shabanov V.V.** Obosnovanie orosheniya s uchetom sohraneniya uslovij estestvennogo pochvoobrazovaniya v Voronezhskoj oblasti / Aktualnye problem zemleustrojstva, kadastraiprirodoobustrojstva: mat-ly i mezhd. nauchno-prakt. konf. 30 aprelya 2021 g. – Voronezh: VGU, 2021. – S. 348-356.
4. **Markin V.N., Glazunova I.V., Matveeva T.I., Sokolova S.A.** Issues on soil moisture management substantiation for the steppe conditions in the European part of Russia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1010(1), 012024.
5. **Dubenok N.N., Soloshenkov A.D., Shabanov V.V.** Podekadnaya produktivnost ozimyh zernovykh kultur na pochvah glinistogo i suglinistogo mehanicheskikh sostavov po agrogidrologicheskim rajonom Voronezhskoj oblasti. Svidetelstvo o registratsii bazy dannyh 2021620368, 02.03.2021. Zayavka № 2021620247 ot 20.02.2021.
6. **Shabanov V.V.** Vлагоobespechennost yarovoj pshenitsy i ee raschet. – L: Gidrometeoizdat, 1981. – 145 s.
7. Srednie mnogoletnie zapasy produktivnoj vlagi pod ozimymi i rannimi yarovymi zernovymi kulturami po oblastyam, krayam, respublikam i ekonomicheskim rajonom: spravochnik. Tom 1. Evropejskayachast SSSR. / Pod red. V.A. Zukova. – L: Gidrometeoizdat, 1986. – 123 s.
8. **Smoljyaninov V.M., Shmykov V.I., Matveeva L.I.** Oroshenie kak factor ustojchivogo razvitiya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva Voronezhskoj oblasti // Vestnik TGU. – 2013. – t. 18, vyp. 2. – S. 694-697.
9. Metodika otsenki kachestva vod dlya orosheniya sel'skohozyajstvennykh kultur na chernozemah v Tsentralno-Chernozemnykh oblastyah. – NovoCherkassk: TSCHO-Giprovodhoz, Yugmelioratsiya, 1988. – 36 s.
10. **Risin I.E., Treshchevsky Yu.I., Petrykina I.N.** Strategicheskyy analiz regiona (naprimere Voronezhskoj oblasti) // Vestnik VGU. Seriya: ekonomika i upravlenie. – 2016. – № 3. – S. 54-64.

#### Criteria of Authorship

Markin V.N., Glazunova I.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Markin V.N., Glazunova I.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 14.05.2022

Approved after reviewing 24.05.2022

Accepted for publication 26.06.2022